



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## NÁVRH VĚTRÁNÍ V RODINNÉM DOMĚ

DESIGN OF VENTILATION SYSTEM IN FAMILY HOUSE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHALOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Hrbáček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Pech, Ph.D.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: Jiří Hrbáček  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: Ing. Ondřej Pech, Ph.D.  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh větrání v rodinném domě

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

U nových nebo zrekonstruovaných rodinných domů, dochází vlivem zateplení a těsných oken ke zhoršenému provětrávání místností, což se projevuje zejména v zimním období, kdy koncentrace oxidu uhličitého v pobytových místnostech nezdědká překračuje hranici 3000 ppm, případně dochází k nárůstu vzdušné vlhkosti a její kondenzaci na studených konstrukcích.

### Cíle bakalářské práce:

Provést literární rešerši větracích jednotek s rekuperací, případně i s chlazením, stanovit potřebné množství větracího vzduchu. Navrhnout trasu vzduchovodů a typ koncových prvků. Dále porovnat náklady na pořízení, montáž a servis vybraných větracích jednotek. Vypočítat roční náklady na provoz.

### Seznam doporučené literatury:

CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. 3, zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901-5740-8.

JANOTKOVÁ, Eva. Technika prostředí. Brno: VUTUM, 1991, 201 s. ISBN 802140258X.

SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je návrh větracího systému s rekuperací v rodinném domě. V úvodní kapitole je práce zaměřena na rešerši větracích jednotek a jejich částí. Dále je stanoveno potřebné množství větracího vzduchu a jsou zvoleny tři větrací jednotky. Pro zvolené jednotky je následně navržena trasa vzduchovodů a proveden výpočet tlakových ztrát. V závěrečné části jsou porovnány náklady na montáž, provoz a údržbu vybraných jednotek.

## **Klíčová slova**

Větrací jednotka, rekuperace, množství větracího vzduchu, vzduchotechnický systém, rodinný dům.

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to design a ventilation system with recuperation in a family house. In the first chapter the work focuses on the research of ventilation units and their parts. Furthermore, the required amount of ventilation air is determined, and three ventilation units are selected. The duct route is then designed for the selected units and the pressure loss calculation is performed. In the final part the installation, operation and maintenance costs of the selected units are compared.

## **Key words**

Ventilation unit, heat recovery, amount of ventilation air, ventilation system, family house.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HRBÁČEK, J. *Návrh větrání v rodinném domě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 2019. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Pech, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Návrh větrání v rodinném domě** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Jiří Hrbáček

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Ondřeji Pechovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a všechnen čas obětovaný ke konzultaci této bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, za podporu při bakalářském studiu.



## Obsah

Úvod.....	11
1 Větrací jednotky s rekuperací.....	12
1.1 Rozdělení větracích jednotek .....	12
1.2 Části větracích jednotek s rekuperací.....	13
1.2.1 Ventilátory .....	14
1.2.2 Tepelné výměníky.....	17
1.2.3 Ohřívače vzduchu .....	20
1.2.4 Chladiče vzduchu.....	21
1.2.5 Filtrace .....	22
1.2.6 Potrubí.....	23
1.2.7 Distribuční prvky .....	25
2 Volba rekuperační jednotky .....	27
2.1 Požadavky na větrání .....	28
2.1.1 Systémy větrání.....	29
2.1.2 Množství větracího vzduchu .....	29
2.2 Navrhované rekuperační jednotky .....	32
2.2.1 Paul Novus 300.....	33
2.2.2 Jablotron Futura L.....	34
2.2.3 Atrea Duplex Easy 300.....	35
3 Rozvody vzduchovodů .....	36
3.1 Trasa vzduchovodů .....	36
3.2 Kontrolní výpočet tlakových ztrát.....	38
3.3 Montáž vzduchovodů .....	42
4 Náklady.....	43
4.1 Náklady na potrubní vedení .....	43
4.2 Náklady na provoz .....	43
4.3 Náklady na dohřev .....	44
4.4 Náklady na údržbu .....	45
4.5 Celkové náklady.....	46
Závěr .....	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	48

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	54
SEZNAM TABULEK .....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	56

## Úvod

Za účelem dosažení co nejnižších tepelných ztrát jsou na nové a rekonstruované stavby kladeny vysoké nároky z hlediska neprůdušnosti oken a dveří. Důsledkem toho ztrácí stavby možnost přirozeného větrání okenními spárami, které se nacházely mezi rámem a zdivem nebo mezi rámem a křídlem okna. Utěsnění oken, dveří a obvodového pláště má negativní vliv na kvalitu vzduchu ve vnitřních prostorách budov. V budovách dochází k nadměrnému výskytu oxidu uhličitého produkovaného lidským dýcháním. Nedostatečné větrání vede ke zvýšenému výskytu vlhkosti, plísní a škodlivin vzniklých při běžných domácích činnostech jako je např. vaření, žehlení, osobní hygiena, zalévání květin apod. [1]

Zajišťování požadované výměny vzduchu větráním okny je nevyhovující kvůli četnosti otvírání oken. Při pravidelném větrání dojde k opětovnému navýšení tepelných ztrát objektu, což je v rozporu s původním záměrem modernizovaného řešení konstrukce oken a dveří. Doporučené řešení pro dosažení minimálních energetických ztrát a zajištění kvalitního ovzduší v obytných budovách je nucené větrání s rekuperací, které splňuje požadavky evropské normy na množství větraného vzduchu. Současný trh nabízí velké množství jednotek zajišťujících výměnu vzduchu podtlakovým, hybridním nebo nuceným rovnotlakým větráním. Nejefektivnější řešení je rovnotlaké nucené větrání, které umožňuje zpětný zisk odvedeného tepla. Díky tomu je potřebná energie na vyrovnání rozdílu mezi venkovní a vnitřní teplotou větraného vzduchu snížena. [1]

# 1 Větrací jednotky s rekuperací

Větrací jednotky se využívají pro výměnu vzduchu v uzavřeném prostoru. Použitý vzduch je odváděn ven a je nahrazen čerstvým vzduchem. Rekuperátor zajišťuje zpětné získání odváděného tepla. Účelem větracích rekuperačních jednotek je dosáhnout požadované kvality vnitřního klimatu a využít odvodní teplo pro ohřev přívodního vzduchu.

## 1.1 Rozdělení větracích jednotek

V současné době je na výběr z velké škály rekuperačních jednotek odlišných svým provedením a využitím [2].

Podle konstrukčního provedení se jednotky rozdělují na:

- vnitřní (stojící na podlaze),
- podstropní (na stěně nebo pod stropem),
- hygienické (pro čisté prostory ve zdravotnictví),
- venkovní (odolné vůči povětrnostním podmínkám),
- nevýbušné,
- seismicky odolné.

Podle umístění se jednotky rozdělují na:

- centrální (ústřední),
- decentrální (lokální).

Podle konstrukce se jednotky rozdělují na:

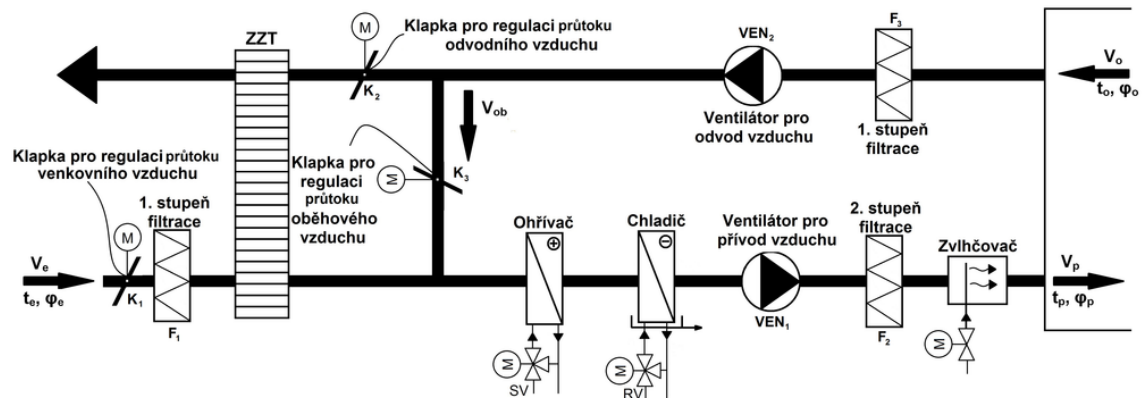
- sestavené (skládají se z komor se stejnými průřezy, které je možné je sestavit dle potřeby),
- kompaktní (celistvý blok),
- nástřešní (s integrovaným Rooftop chlazením).

Podle provedení se jednotky rozdělují na:

- komfortní (větrání budov se zvýšeným pohybem osob),
- průmyslové.
- technologické (odvětrávání strojů ve výrobě),
- účelové (odmlžení, větrání při vzniku požáru nebo zvýšené koncentraci škodlivin).

## 1.2 Části větracích jednotek s rekuperací

Jednotlivé části větrací jednotky jsou umístěny v ocelové skříni. Před únikem tepla a hluku chrání vzduchotěsná izolační polypropylenová vložka. Mezi základní části jednotky patří přívodní a odvodní ventilátor, tepelný výměník, regulační klapky a vzduchové filtry. Dále je možno přidat ohřívač, chladič a zvlhčovač vzduchu. Názorné rozmístění jednotlivých částí, konkrétně pro jednozónový jednokanálový klimatizační systém znázorňuje obr. 1.1 – Schéma vzduchotechnické jednotky [3].



Obr. 1.1 – Schéma vzduchotechnické jednotky [3]

$v_e$	Objem venkovního nasávaného vzduchu
$t_e$	Teplota venkovního nasávaného vzduchu
$\varphi_e$	Relativní vlhkost venkovního nasávaného vzduchu
$v_p$	Objem přivedeného vzduchu
$t_p$	Teplota přivedeného vzduchu
$\varphi_p$	Relativní vlhkost venkovního vzduchu
$v_o$	Objem odvodního vzduchu
$t_o$	Teplota odvodního vzduchu
$\varphi_o$	Relativní vlhkost odvodního vzduchu
$v_{ob}$	Objem oběhového vzduchu
$K_1$	Klapka pro regulaci průtoku venkovního vzduchu
$K_2$	Klapka pro regulaci průtoku odvodního vzduchu
$K_3$	Klapka pro regulaci průtoku oběhového vzduchu
$F_1$	Filtrace 1. stupně
$F_2$	Filtrace 2. stupně
$ZZT$	Zařízení k zisku tepla
$VEN_1$	Ventilátor pro přívod vzduchu
$VEN_2$	Ventilátor pro odvod vzduchu

Ventilátor ( $VEN_1$ ) nasaje přes filtr ( $F_1$ ) určitý objem venkovního vzduchu s venkovní teplotou a vlhkostí. Vzduch prochází přes tepelný výměník, který mu předá část tepla z odvodního vzduchu. Ten je odsáván z místností se zvýšeným znečištěním ovzduší a dopraven do výměníku přes filtr ( $F_1$ ) pomocí ventilátoru ( $VEN_2$ ). Vzduch vycházející z tepelného výměníku do vnitřního prostoru prochází podle požadavků na teplotu a vlhkost vzduch ohříváčem, chladičem nebo zvlhčovačem. Výsledný přívodní vzduch určitého objemu, vlhkosti a teploty je pomocí vzduchovodů dopraven do místností podle požadavků na větrání. V letních měsících se využívá by-pass klapka, která odvodní vzduch vede mimo tepelný výměník rovnou ven, aby nedocházelo k ohřívání přívodního venkovního vzduchu [3].

### 1.2.1 Ventilátory

Ventilátory jsou rotační stroje s lopatkovým kolem nebo vrtulí, používají se k dopravě vzduchu, páry nebo plynu při maximálním stlačení 1,3. Stlačení udává poměr absolutního tlaku ve výtlacném hrdle k absolutnímu tlaku v sacím hrdle. Pohon ventilátoru zajišťuje elektromotor [4], [5].

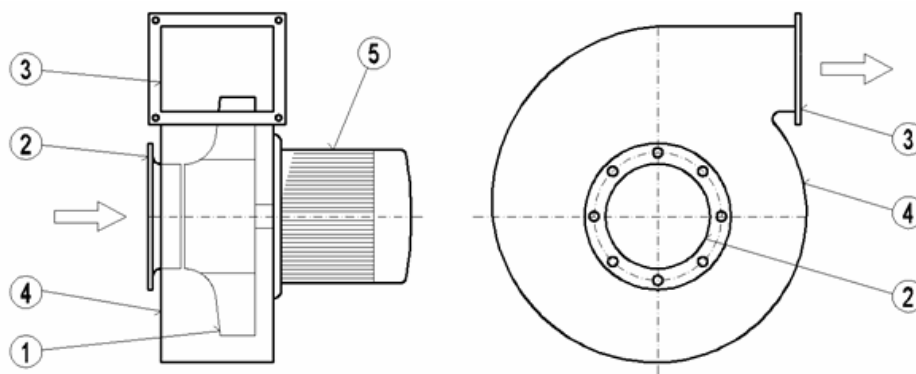
Ventilátory se dělí podle způsobu průchodu vzduchu na:

- radiální,
- axiální,
- diametrální,
- diagonální.

Podle celkového tlaku je dělíme na

- nízkotlaké,
- středotlaké,
- vysokotlaké.

Rekuperační jednotky pro větrání obytných budov využívají radiální ventilátory (viz obr. 1.2), které se skládají z rotoru, skříně a rámu. Vzduch vstupuje sacím hrdlem rovnoběžným s osou rotace oběžného kola a vystupuje v radiálním směru. Oběžné kolo se skládá z nosného a krycího kotouče a lopatkových kanálků. Kolo je usazeno ve skříně radiálního ventilátoru, která se nazývá spirální skříň. Lopatky jsou zakřivené dopředu, dozadu nebo jsou radiální. Dozadu zahnuté lopatky mají vysokou účinnost, velkou obvodovou rychlost, velký rozměr a vysokou cenu. Dopředu zahnuté lopatky mají naopak nízkou účinnost, malou obvodovou rychlost a nízkou cenu. Základový rám je umístěn na pružných členech vyrobených z ocelových pružin nebo pryže, které omezují přenos vibrací, chvění a hluku na zbylé části jednotky. Pro spojení rotoru s pohonem se používá klínový řemen, spojka nebo spojení bez převodového ústrojí, kdy je oběžné kolo napřímo nasazené na hřídeli elektromotoru. Klínový řemen se používá pouze u lopatek s nízkou obvodovou rychlostí, dobře tlumí rázy [5].



Obr. 1.2 – Radiální ventilátor [6]

(1) oběžné kolo, (2) sací hrdlo, (3) výtlačné hrdlo, (4) spirální skříň a (5) elektromotor

Axiální ventilátory se kvůli své hlučnosti používají pouze pro průmyslové účely. Jsou vhodné pro velké průtoky vzduchu při nízkých tlacích. Sání probíhá stejně jako výtlak v axiálním směru. Oběžné kolo, umístěno ve skříni nazývané difuzor, je složeno z náboje a lopatek. Diametrální a diagonální ventilátory jsou využívány výjimečně, a proto se jejich parametry značně mění [5].

### Charakteristiky ventilátorů

Základní veličiny popisující ventilátor jsou:

- celkový tlak ventilátoru  $\Delta p_c$  [N/m<sup>2</sup>],
- objemový průtok  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s],
- celková účinnost  $\eta_c$  [-].

Celkový tlak je definován jako rozdíl celkových tlaků ve výtlačném hrdle a v sacím hrdle. Ventilátor pracuje při podmínkách odpovídajícím provoznímu bodu. Provozní bod udává maximální účinnost a nachází se v průsečíku tlakové charakteristiky ventilátoru s charakteristikou sítě.

Tlaková charakteristika ventilátoru při standardní hustotě vzduchu a konstantních otáčkách udává závislost dopravního tlaku na objemovém průtoku. Charakteristiku sítě určuje závislost přetlaku  $\Delta p$  na objemovém průtoku (viz rovnice 1.1) [4], [5].

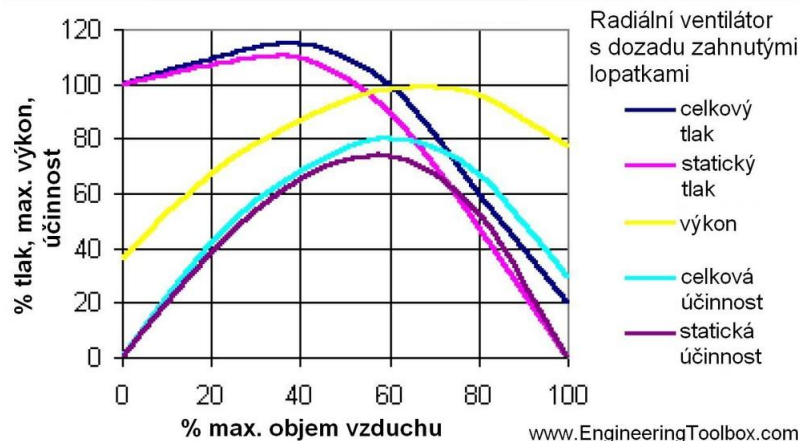
$$\Delta p = C \cdot \dot{V}^2 \quad (1.1)$$

$\Delta p$	[Pa]	Přetlak
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Objemový průtok
$C$	[kg/m <sup>7</sup> ]	Konstanta dané sítě (tlakové ztráty sítě, vlastnosti proudícího média)

Pro porovnání ventilátorů různých velikostí pracujících při odlišných otáčkách se používají bezrozměrové charakteristiky, které udávají procentuální závislost celkového dopravního tlaku, příkonu a účinnosti na objemovém průtoku (procentuální závislost

radiálního ventilátoru viz obr. 1.3). Mezi bezrozměrové charakteristiky patří tlakové číslo  $\phi$ , průtokové číslo  $\psi$  a výkonové číslo  $\lambda_v$ .

Aerodynamická činnost větracího systému se určuje na základě celkového dopravního tlaku (tj. statický + dynamický tlak) [4].



Obr. 1.3 – Procentní charakteristiky radiálního ventilátoru s dozadu zahnutými lopatkami [7]

### Regulace ventilátorů

Změnu průtoku vzduchu za současné změny celkového tlaku lze provést několika způsoby. Je možné regulovat změnou otáček, škrcením nebo natáčením lopatek. Natáčení lopatek se používá převážně u axiálních ventilátorů, proto se tato regulace nepoužívá u větracích jednotek obytných budov [4].

Regulace škrcením se používá u malých ventilátorů, probíhá pomocí klapky nebo šoupátka vestavěného do potrubního vedení. Přivření klapky způsobí snížení průtoku vzduchu, ale zároveň dojde k tlakovým ztrátám. Vlivem odporu klapky se sníží příkon, toto snížení je nejvýraznější u nízkotlakých ventilátorů. Při nevhodném umístění klapky může škrcení zvyšovat hlučnost zařízení [5].

U převodů s klínovými řemeny lze provést dvoustupňovou regulaci. Spočívá v tom, že ventilátor má dva různé režimy a při změně ročního období je možno změnit řemenici. V rekuperačních jednotkách se však používá regulace plynulou změnou otáček, které docílíme změnou vstupního napětí, vstupní frekvence nebo EC technologií. Změnu frekvence střídavých motorů (AC) lze provést frekvenčním měničem, který je jako samostatné zařízení nebo je zabudován přímo v motoru. Stejnosměrné motory (DC) využívají transformátorové regulátory, u kterých nastává skoková změna napětí nebo elektrické napěťové regulátory, jejichž změna otáček je plynulá. Elektricky komutované stejnosměrné motory (EC) využívají ke změně otáček elektronickou desku s plošnými spoji nebo frekvenční měnič. Regulace změnou otáček je nejúspornější, k největší úspoře elektrické energie dochází při použití ventilátorů s EC motory [4], [8].



## Pohon ventilátorů

Pro pohon ventilátorů rekuperačních jednotek se v současné době nejčastěji používají elektricky komutované stejnosměrné motory (EC), které nahradily střídavé motory (AC).

Výhodou AC motorů jsou nízké pořizovací náklady, jednoduché provedení a snadná údržba. Rozdělují se na synchronní motory a asynchronní (indukční) motory. Asynchronní motory indukují magnetické pole statoru, vytvořené vstupním napětím, na pole rotoru. Indukční motory mají neměnnou frekvenci, proto jediným způsobem regulace je změna napětí. Při snížení napětí však dochází ke snížení točivého momentu a účinnosti. Synchronní motory využívají k vytvoření magnetického pole permanentní magnety nebo sběrací kroužky. Na rozdíl od indukčních motorů u nich nedochází k prokluzu a jejich otáčky je možno regulovat frekvenčním měničem. Pro použití v rekuperačních jednotkách jsou však ve většině případů nevyhovující, protože nedosáhnou požadované účinnosti. Oproti stejnosměrným motorům mají AC motory až o 30 % nižší účinnost, která je způsobena vynaložením větší energie na vytvoření magnetického pole. V důsledku vysokého příkonu proudu může nastat, že množství energie potřebné na provoz převyší úsporu energie dosaženou při rekuperaci. Jsou vhodné pro provoz v konstantním zatížení na výkonové křivce, mimo tento rozsah jejich účinnost značně klesá [9], [10].

Elektricky komutované motory jsou stejnosměrné motory využívající elektrické řízení statoru. V oblasti energetické úspory jsou velmi inovativní, protože v důsledku elektrického ovládání dosahují vyšší účinnosti a lepší regulace. Podle potřeby poháněného zařízení regulátor umožňuje nastavení různých výkonů a plynulých přechodů s vysokou rychlostí. Motory pracují v uspořádání, kdy stator má pevné vinutí a rotor permanentní magnety, přívod proudu do statoru řídí elektronický spínač. Součástí stejnosměrných DC motorů jsou uhlíkové kartáče, u kterých dochází k jiskření a rychlému opotřebení. EC motory tyto kartáče nemají, proto je jejich životnost výrazně delší [9], [11].

### 1.2.2 Tepelné výměníky

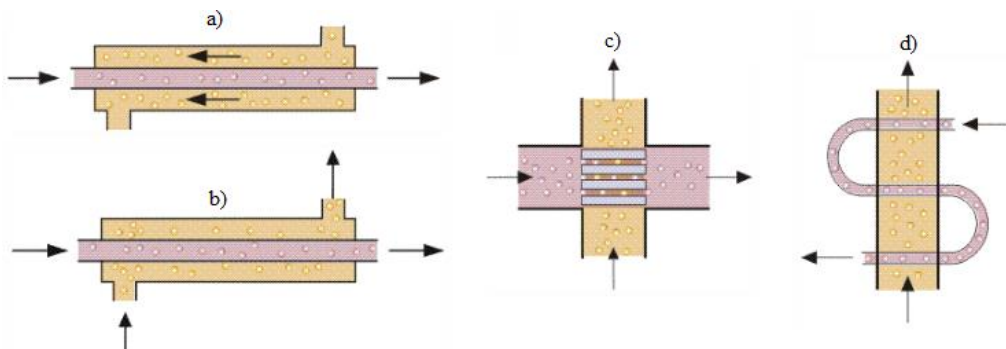
Umožňují předání tepla mezi dvěma tekutinami, aniž by došlo k přímému kontaktu. Některé výměníky (entalpické) navíc umožňují předání vlhkosti. Ve větracích jednotkách se využívají ke zpětnému získávání tepla (ZZT) z odvodního vzduchu. Pokud má odvodní vzduch vyšší vlhkost, dojde nejen k předání citového tepla, ale také k předání vázaného (latentního) tepla. Kondenzací vody dojde ke zvýšení účinnosti. Tepelné výměníky se dělí na rekuperační a regenerační [4], [12].

#### Rekuperační výměníky

Mají pro každou tekutinu samostatnou průtokovou cestu a k předání tepla dochází přes stěny oddělených cest. Účinnost výměníků roste s velikostí plochy, na které přestupuje teplo. Umístěním více výměníků za sebe dosáhneme také vyšší účinnosti, ale zároveň se navýší tlakové ztráty v potrubí.

Podle průtoku tekutiny můžeme tyto výměníky rozdělit na (obr. 1.4):

- souproudé,
- protiproudé,
- křížové
- kombinované (např. křížové protiproudé)



Obr. 1.4 – Vzájemný směr proudění tekutiny [12]

a) protiproudý výměník, b) souproudý výměník, c) křížový výměník, d) křížový protiproudý výměník

Největší změny teploty při stejném výkonu lze dosáhnout u protiproudých výměníků, proto i jejich účinnost je nejvyšší. Naopak souproudý výměník dosahuje nejnižší účinnosti. Účinnost křížových a kombinovaných výměníků se nachází v rozmezí mezi souproudým a protiproudým výměníkem [4], [12].

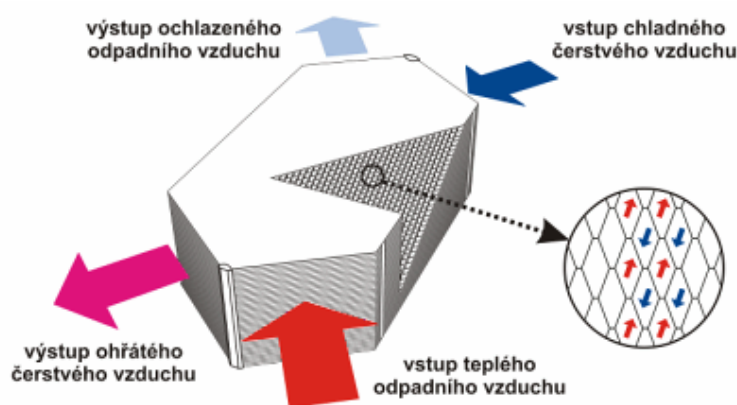
Rekuperační vzduchotechnické jednotky využívají pro zpětný zisk tepla:

- kapalinové okruhy,
- tepelné trubice,
- deskové výměníky,
- tepelná čerpadla.

Kapalinový okruh spojuje dva lamelové výměníky na libovolnou vzdálenost. Teplo se předává z odvodního vzduchu do teplotnosné kapaliny a poté do přívodního vzduchu. Odsávaný vzduch z místnosti nemusí být dopraven do větrací jednotky. Nevýhodou je vyšší spotřeba energie na provoz čerpadla, které přepravuje teplotnosnou kapalinu. Tyto systémy jsou vhodné v budovách, kde není možné instalovat nový větrací systém (např. historické památky) nebo v rekonstruovaných budovách, ve kterých není možno měnit trasy již zabudovaného vzduchotechnického potrubí. Účinnost rekuperace s kapalinovým okruhem se pohybuje v rozmezí 60–70 % [13].

Dalším způsobem rekuperace je využití tepelné trubice. Kolem spodní části uzavřené trubice proudí odváděcí vzduch. Dochází k vypařování vlivem varu náplně trubice, nejčastěji čpavek, freon nebo voda. Horní částí proudí venkovní přívodní vzduch, dochází k ohřívání vlivem vzniklé páry. Následně pára kondenzuje a vrátí se zpět do spodní části. Tepelné trubice dosahují maximální účinnosti 65 % [13].

Deskové výměníky jsou aktuálně nejčastěji používanými výměníky ve větracích jednotkách rodinných domů a bytů. Původní variantu čtvercového tvaru s křížovým průtokem vzduchu nahradil protiproudý deskový výměník šestiúhelníkového tvaru (viz obr. 1.5). Touto inovací se účinnost ZZT zvýšila na 80–90 %. Za ideálních podmínek (při zvýšené vlhkosti) může pomocí kondenzace dosáhnout účinnosti nad 90 %. V zimních měsících může kondenzovaná voda začít namrzat, což vede ke zhoršení účinnosti nebo poškození jednotky. K odstranění námrazy se využívá dočasná cirkulace odvodního vzduchu. Vyšší účinnosti lze také dosáhnout zvýšením rychlosti proudění vzduchu nebo zdrsňením povrchů, to však vede k tlakovým ztrátám. Desky jsou nejčastěji vyrobeny z hliníku, nerezových plechů nebo plastu. Díky jednoduchému konstrukčnímu provedení jsou pořizovací náklady nízké [13].



Obr. 1.5 – Protiproudý deskový výměník [14]

K předání tepla se také využívají tepelná čerpadla. Používají se nejčastěji u třítrubkových systémů, které umožňují regulaci průtoku chladiva. Rekuperace probíhá nejen mezi vnitřním a venkovním prostředím, ale také mezi částmi budovy s různými požadavky na větrání. K přenosu tepla se využívá čerpadlový kompresor, který předává kondenzační a výparné teplo chladivové náplně. Tato varianta je nejdražším způsobem tepelné výměny. Pokud nedochází k zisku tepla z odvodního vzduchu, ale ze vzduchu proudícího mezi jednotlivými částmi budovy, nejedná se o ZZT [13].

### Regenerační výměníky

U regeneračních výměníků může dojít k částečnému mísení tekutin.

Rozdělují se na:

- rotační,
- přepínací (statické).

K předání energie dochází pomocí akumulace hmoty. Společný akumulací prostor musí zajišťovat dobrý přenos tepla, nízké ztráty tlaku a dobrou odolnost proti samovolnému rozrušení materiálu. Teplá tekutina při průtoku předá své teplo do akumulací sekce, která je vyrobená z hliníku, syntetických materiálů (plastů),

materiálů na bázi celulózy apod. Akumulované teplo se poté uvolní při průchodu studené tekutiny [12].

Rotační výměníky nejčastěji využívají k akumulaci hmoty hliníkové plechy nebo folie, které se otáčejí jako rotor. Šířka rotoru se podle míry škodlivin v budově pohybuje v rozmezí 200–250 mm. Prostor je rozdělen na dvě utěsněné části. Jako těsnění se používá plst' (netěsnost 5–8 %), kartáč (netěsnost 3–5 %) nebo speciální labyrintové těsnění (netěsnost do 1,5 %). Pro snížení množství předaných škodlivin do přívodního vzduchu se používají vyplachovací komory, které však mají negativní vliv na účinnost regenerace. V jedné části proudí odvodní a v druhé přívodní vzduch. Rotor tvoří střídavě rovné a zvlněné plechy, tvořící mřížku, kterou proudí vzduch a umožňuje akumulaci odvodního tepla s následným předáním přívodnímu vzduchu. Při úpravě povrchu plechu (např. nanesení silikagelu nebo zeolitu) je možný také přenos vlhkosti. Při vysoké vlhkosti dochází ke kondenzaci, která při nízkých teplotách může zapříčinit zamrznutí a poničení hliníkových plechů. Účinnost rotačního výměníku se pohybuje v rozmezí 70–80 % [14].

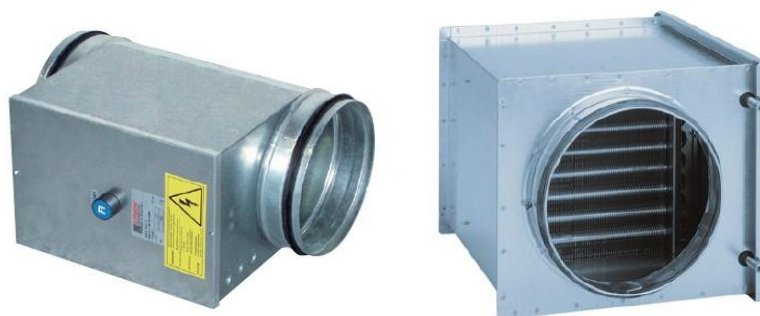
V přepínacím výměníku nedochází k pohybu akumulární hmoty. Jejich součástí je společný průtokový prostor, kterým střídavě proudí studený a teplý vzduch. Přepínáním však dochází k částečné kontaminaci přívodního vzduchu, 5–10 % objemu odvodního vzduchu se dostane zpátky do budovy a stejné množství přívodního vzduchu se dostane ven. Proto jsou vhodné pouze pro větrání objektů, ve kterých je nízká návratnost škodlivin přípustná [13].

### 1.2.3 Ohříváče vzduchu

Ohříváče vzduchu (viz obr. 1.6) se využívají jako aktivní ochrana proti mrazu nebo pro předehřev vzduchu před vstupem do přívodního vedení. Zabraňují vzniku námrazy v tepelném výměníku větrací jednotky [15].

Nejrozšířenější jsou:

- vodní ohříváče,
- elektrické předehříváče.



Obr. 1.6 – Ohříváče vzduchu [16]

(vlevo) – elektrický předehřev MBE-AFP 125/0,4, (vpravo) – vodní ohříváč MBW 160

Vodní ohřívač využívá tepelný výměník voda – vzduch. Konstrukční provedení výměníku je z hladkých trubek nebo s žebrovaným povrchem. Do výměníku vstupuje ohřátá voda, která je teplosměnnou tekutinou a předává své teplo vzduchu. Teplota vody se nejčastěji pohybuje v rozmezí 90 až 95 °C a ochladí se na 70 °C. Výstupní teplota z výměníku nesmí překročit provozní teplotu ventilátoru. Nevýhodou vodních ohřívačů je nutná protimrazová ochrana při výpadku proudu [4].

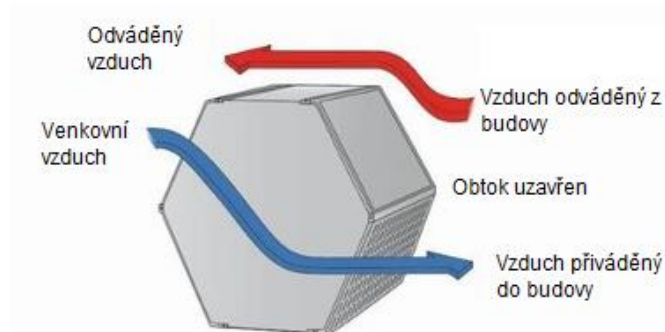
Elektrické přehřevy se používají, pokud není k dispozici zdroj teplé vody. Jejich průměr odpovídá průměru vzduchovodu. Vstupující vzduch nesmí překročit vlhkost 60 %. Ohřívač nesmí být v kontaktu s hořlavými materiály, proto v jeho okolí musí být instalováno ocelové potrubí. Pokud je umístěn před ventilátorem, ventilátor musí být v provozu. Rychlost průtoku vzduchu je kontrolována čidlem, při poklesu pod 1,5 m/s se ohřev vypne [4].

Jako protimrazová ochrana se dají také využít zemní (kapalinové nebo vzduchové) registry, které jsou tvořeny potrubím v nezámrzné hloubce (min. 1,2 m). Zemina udržuje teplotu vzduchu v rozmezí 8 až 12 °C, což v zimních měsících zabraňuje vstupu příliš chladného vzduchu do jednotky. V letních měsících naopak ochlazuje přírodní vzduch. Tato varianta je však finančně nákladná, prostorově rozměrná a dosahuje poměrně malé účinnosti [15].

#### 1.2.4 Chladiče vzduchu

Aktivního chlazení přírodního vzduchu lze dosáhnout výparníkem nebo využitím zemního registru (viz kapitola 1.2.3). Výparníky mají podobné konstrukční provedení jako ohřívače, vyrábí se v interním i externím provedení. Rozměr teplosměnné plochy oproti ohřívačům je však větší, protože rozdíl teploty tekutiny a ochlazovaného vzduchu je menší. S rostoucím rozměrem se zvyšují i náklady na provoz. Lamely výparníku jsou rozmístěny s větším rozestupem, protože při vzniku námrazy se mezery zmenšují. Chladicí tekutina pomocí tepelného čerpadla ochlazuje vzduch přiváděný z venku, při ochlazování vzniká kondenzát, který je nutno odvádět. Jako chladicí tekutina se používá voda nebo vzduch. Výparníky umožňují ochlazení až o 8 °C [4], [15].

V letních měsících lze využít k předchlazení budovy bypass klapu (viz obr. 1.7), která způsobí uzavření přístupu vzduchu do tepelného výměníku. Vzduch proudí přímo ven a nepředává přírodnímu vzduchu teplo. Obtok vzduchu se využívá převážně v noci, kdy je venkovní teplota nižší než teplota uvnitř vyhřáté budovy. Tato varianta je finančně nejlevnější a konstrukčním provedením nejjednodušší. Ochlazení interiéru ve večerních hodinách zvyšuje kvalitu spánku [15].



Obr. 1.7 – Obtok přes bypass klapu [15]

### 1.2.5 Filtrace

Filtrace vzduch je nezbytnou součástí pro dosažení požadované kvality ovzduší uvnitř budovy. Filtry se umísťují do přívodního vedení a do odvodního vedení před ventilátor v rekuperační jednotce, aby zabránily vstupu nečistot do tepelného výměníku a zajistily požadovanou čistotu vzduchu uvnitř větraného prostoru. Při zvýšených požadavcích na kvalitu vzduchu se využívá vícestupňová filtrace pomocí aerosolových filtrů [17].

Filtry se rozdělují na:

- atmosférické,
- sorpční.

Filtrace atmosférického vzduchu zabraňuje prostupu částic tuhých a kapalných látek, nejčastěji v rozsahu 0,01 až 100  $\mu\text{m}$ . Kvalita filtrů se především posuzuje podle tlakové ztráty, jímavosti a životnosti. Účinnost filtrů určuje poměr hmotnosti odloučeného prachu nebo aerosolu k hmotnosti přivedeného prachu nebo aerosolu v určitém časovém úseku [17].

Podle odlučnosti se rozdělují na:

- hrubé (třída G),
- jemné (třída F),
- vysoce účinné (třída H).

Hrubé filtry zabraňují prostupu prachu a pylu. Jemné navíc zachycují bakterie, saze, olejovou mlhu a kouř [17].

Ve větracích jednotkách pro větrání rodinných domů a bytů se používají vložkové filtry, které se rozdělují na:

- deskové,
- skládané,
- kapsové.

Vyměnitelnou filtrační část vložkového filtru tvoří rohože, rouna (ze syntetických nebo skleněných vláken), vpichované textilie, jemné papíry (vyrobené ze skleněných nebo organických vláken). Filtrační materiál je upevněn do kovových, plastových nebo

kartonových rámečků. Kapsové filtry se u malých jednotek nepoužívají, protože kapsy zabírají více prostoru [17].

Sorpční filtry zabráňují prostupu plynů a pachů. Nejčastěji využívají aktivní uhlí (viz obr. 1.8) nebo aktivní koks, které tvoří adsorbční plochu s velkým povrchem. Před uhlíkové filtry se předsazují vzduchové filtry, aby nedocházelo k rychlému zanesení a následné ztrátě tlaku. Účinnost adsorpce je pro každou látku jiná, vyjadřuje závislost množství zachycené látky na hmotnosti náplně [17].



Obr. 1.8 – Sorpční filtr s aktivním uhlím [18]

### 1.2.6 Potrubí

Větrací jednotky využívají potrubí (vzduchovody) pro přívod a odvod vzduchu ve větraných místnostech. Potrubí se vyrábí s čtyřhranným nebo kruhovým průřezem. U kruhového potrubí dochází k menšímu usazování prachu, umožňuje vyšší průtokové rychlosti a spotřeba materiálu na výrobu je nižší. Obdélníkové potrubí se používá do míst s nedostatkem prostoru [17].

Jako materiál pro výrobu potrubí se nejčastěji používá:

- ocelový pozinkovaný plech,
- hliník (laminátová hliníková folie nebo hliníková slitina),
- plast (PE nebo PVC).

Vzduchovody se po obvodu izolují, aby nedošlo k tepelným ztrátám a kondenzaci. Izolace je tvořena skelnou vatou a její tloušťka může být 25 nebo 50 mm, je chráněna hliníkovou laminátovou folií. Potrubí se uchycuje na závěsy nebo konzoly, které jsou umístěny v rozmezí 2 až 4 metry [17].

Nejčastěji se používá potrubí vyrobené z pozinkovaného ocelového plechu. Plech je tvarován do obdélníkového nebo kruhového průřezu (SPIRO potrubí viz obr. 1.9). Jednotlivé díly se spojují pomocí vsuvek, jako jistící prvky se používají objímky nebo samořezné šrouby. Místo spoje je nutno utěsnit PVC páskou. Je možné dokoupit izolační návlak [17].





Obr. 1.9 – SPIRO potrubí [16]

Potrubní systém SONO (viz obr. 1.10) využívá kombinaci lehkých ohebných materiálů izolovaných minerální vatou. Potrubí je vyrobeno z hliníku a polyesteru. Konstrukci vyztužuje ocelový drát a vnější plášť tvoří hliníkový laminát. Výhodou je flexibilní montáž a dobrý útlum zvuku. Generuje však vyšší tlakové ztráty oproti pevnému ocelovému potrubí [16], [17].



Obr. 1.10 – SONO potrubí [16]

Další variantou pro vedení vzduchu je plastové hadicové potrubí Klimaflex. Vyrábí se ve dvou barevných provedeních. Zelené potrubí (viz obr. 1.11) má oproti modrému vnitřní ošetření proti tvorbě plísní a bakterií. Potrubí o průměru 75 nebo 90 mm se propojuje s větrací jednotkou pomocí rozdělovacího boxu, který je napojen na rozvody z větrací jednotku [16], [17].



Obr. 1.11 – Flexibilní potrubí ED Flex [16]



Plastový potrubní systém čtyřhranného nebo kruhového tvaru se využívá pro větrání menších prostorů v rodinném domě. Uplatnění najde převážně v rozměrově omezených místnostech (nízké podhledy, málo prostoru v podlaze). Hlavní výhodou je nízká hmotnost, snadná montáž a dlouhá životnost [17].

Součástí vzduchovodů jsou regulační prvky a tlumiče hluku (viz obr. 1.12). Regulační klapky se používají k ovládání průtoku vzduchu nebo jako protipožární ochrana. Protipožární klapka zabrání přívodu vzduchu, který by podporoval hoření, až na 90 minut. Tlumiče hluku se používají ke snížení přenášeného hluku způsobeného provozem ventilátoru, nebo k zabránění šíření zvuku mezi jednotlivými místnostmi. Stěny tlumiče jsou obloženy materiálem pohlcujícím zvuk (např. skelná vata) [17].



Obr. 1.12 – Tlumič hluku SLU [16]

Pro propojení celé potrubní sítě se využívají tvarové kusy, které umožňují rozvětvení nebo spojení porubí. Úhel rozšíření by neměl překročit 15° [16], [17].

### 1.2.7 Distribuční prvky

Koncové prvky jsou nedílnou součástí větracích jednotek. Jsou umístěny na konci vzduchovodu ve stropě, podlaze nebo zdi. V obytných prostorech jsou nejčastěji používány mřížky nebo talířové ventily. Distribuční prvky mají zásadní vliv na proudění a kvalitu vzduchu v budově. Po dokončení jejich montáže je nutné (pokud je to možné) provést měření průtoku vzduchu a následnou regulaci přírodních vyústek dle požadavků na větrání. Regulace se provádí manuálně pomocí škrcení nebo automaticky za provozu [17].

Pro odvod a přívod vzduchu v rodinných domech se nejčastěji používá talířový ventil, který je vyroben z ocelového plechu nebo plastu. Jeho montáž se provádí do podhledu stropu. Součástí ventilu je zděř, která se upevní pomocí vrtů do potrubí nebo do sádkokartonu. Umožňuje snadné měření průtoku vzduchu pomocí měřicí trubice. Následná regulace přírodního talíře se provádí změnou vzdálenosti regulačního kroužku. Po dosažení vyhovujícího průtoku se regulační kroužek zajistí kontramatkou. Výrobce udává experimentálně zjištěné hodnoty tlakových ztrát pro daný průtok [17].



Obr. 1.13 – Univerzální plastový talířový ventil [16]

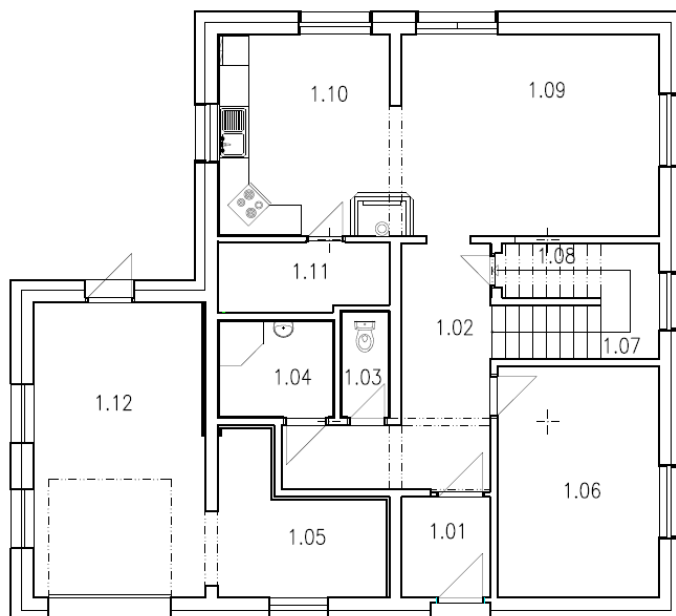
Další používanou variantou je mřížková výustka, která se umísťuje do podlahy nebo do zdi. S montáží boxu, na kterém je mřížka usazena je potřeba počítat již při hrubé stavbě. Vyrábí se v provedení s jednou nebo dvěma řadami mřížek, které mají pevné nebo pohyblivé lamely [16], [17].



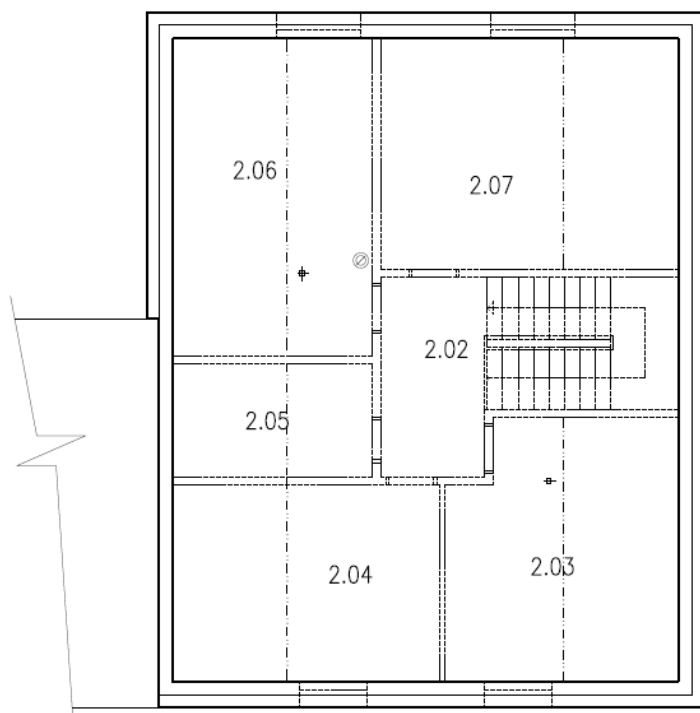
Obr. 1.14 – Podlahová mřížka PMA [16]

## 2 Volba rekuperační jednotky

Vzduchotechnické rozvody slouží pro větrání dvoupatrového rodinného domu, ve kterém bydlí čtyřčlenná rodina. Dům má dvě oddělené části, těmi jsou obytná část a garáž s dílnou. Výkresová dokumentace s označením místností v 1. NP obr. 2.1 a výkresová dokumentace místností v 2. NP obr. 2.2. Celková obytná plocha domu je 185,4 m<sup>2</sup> viz tab. 2.1 – Legenda místností.



Obr. 2.1 – Výkresová dokumentace 1.NP



Obr. 2.2 – Výkresová dokumentace 2. NP

**Tab. 2.1 – Legenda místností**

Označení	Místnost	Obytná plocha [m <sup>2</sup> ]	Objem místnosti [m <sup>3</sup> ]	Přehled
1.01	Zádveří	3,5	8,8	Provětrávaná místnost
1.02	Chodba	12,2	30,5	Provětrávaná místnost
1.03	WC	2,0	5,0	Místnost s odvodem vzduchu
1.04	Koupelna	4,7	11,8	Místnost s odvodem vzduchu
1.05	Dílna	–	–	Neprovětrávaná místnost
1.06	Pokoj 1	15,5	39,0	Místnost s přívodem vzduchu
1.07	Schodiště přízemí	3,9	10,0	Provětrávaná místnost
1.08	Komora	2,4	10,0	Provětrávaná místnost
1.09	Obývací pokoj	21,5	54,0	Místnost s přívodem vzduchu
1.10	Kuchyně	15,0	37,5	Místnost s odvodem vzduchu
1.11	Technická místnost	5,1	12,8	Provětrávaná místnost
1.12	Garáž	–	–	Neprovětrávaná místnost
2.01	Schodiště patro	8,0	16,3	Provětrávaná místnost
2.02	Chodba	7,6	19,5	Provětrávaná místnost
2.03	Pokoj 2	18,5	43,2	Místnost s přívodem vzduchu
2.04	Ložnice	16,6	37,3	Místnost s přívodem vzduchu
2.05	Koupelna	7,1	15,1	Místnost s odvodem vzduchu
2.06	Pokoj 3	20,1	43,1	Místnost s přívodem vzduchu
2.07	Pokoj 4	21,7	50,4	Místnost s přívodem vzduchu
CELKEM		185,4	444,3	

## 2.1 Požadavky na větrání

Optimální podmínky pro vnitřní mikroklima jsou teplota 20 °C a relativní vlhkost 50 %. Zvýšená vlhkost zabraňuje vysychání oční sliznice, ale na druhou stranu přispívá ke tvorbě plísní, které zvyšují přítomnost bakterií způsobujících alergie a různá onemocnění. Snížení vlhkosti v uzavřených prostorech dosáhneme pravidelným větráním. Další ovlivňující aspekt je koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>, který vzniká při dýchání. Standartní venkovní koncentrace je 370 ppm CO<sub>2</sub>, v budovách je nereálné dosáhnout takových hodnot, proto se udává ideální koncentrace do 1000 ppm oxidu uhličitého ve vzduchu, nejvyšší přípustná hodnota je v obytných místnostech do 5000 ppm. Aby bylo dosaženo dostatečné kvality ovzduší v novostavbách a budovách po rekonstrukci, je nutné použít větrací systém. Větrání může být prováděno podtlakově, hybridně nebo rovnotlance [1], [19].

## 2.1.1 Systémy větrání

Podle umístění lze větrací jednotky rozdělit na jednotky s centrálními nebo lokálními ventilátory. Mezi lokální ventilátory patří digestoře s odvodem vzduchu ven, nebo ventilátory na toaletách. Lokální větrání je zaměřeno pouze na jednu místnost. Centrální se používá pro větrání více místností z jednoho místa (např. v panelových nebo rodinných domech). Při podtlakovém větrání je nutný přívod vzduchu do budovy. Pokud jsou okna těsná, je nutné umožnit přívod vzduchu větracími otvory, které se umísťují nad topná zařízení, okna nebo pod strop. Otvory jsou opatřeny filtrem proti nečistotám z venkovního prostředí a tlumičem hluku [1].

Hybridní větrání umožňuje kombinovat přirozené a nucené větrání. Zaručí tak čistotu vzduchu a nízké provozní náklady. Průtok vzduchu je shodný s nuceným větráním a množství proudícího vzduchu stanovuje řídicí systém na základě obsahu  $\text{CO}_2$  v objektu [1].

Nucené rovnotlaké větrání je tématem této bakalářské práce. Kvalita nuceného větrání je vyšší a jednotka může využívat zpětný zisk odváděného tepla. Rozdíl teplot je dorovnán tepelným výměníkem. Z energetického hlediska je tato varianta nejvhodnější, lze využít 80–95 % tepla z odvodního vzduchu [1].

## 2.1.2 Množství větracího vzduchu

Základní požadavky na množství odvedeného a přivedeného vzduchu v rodinném domě udává norma ČSN EN 15662/Z1, která zaručuje intenzitu větrání  $0,3 \text{ h}^{-1}$  (viz tab. 2.2). Jednotka zajišťuje odvod vzduchu z místností se zvýšeným množstvím vlhkosti, zápachů a škodlivých látek (kuchyně, WC, koupelna) a přívod čerstvého vzduchu do obytných místností (ložnice, pokoje, jídelna, obývací). Dále musí být dodrženo množství dodaného vzduchu v závislosti na počtu osob v místnostech. Minimální hodnota je  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  na každou osobu, proto by měl průtok čerstvého vzduchu ve společných prostorech, jako je obývací nebo jídelna, dosahovat minimální hodnoty alespoň pro čtyři osoby [1].

Tab. 2.2 – Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [21]

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání	Dávka venkovního vzduchu na osobu	Kuchyně	Koupelny	WC
	$[\text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}^3/\text{h}]$
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Minimální množství větracího vzduchu pro danou budovu je 225 m<sup>3</sup>/h (viz tab. 2.3). Při této variantě je intenzita proudění 0,3 h<sup>-1</sup>, pro dosažení doporučené intenzity 0,5 h<sup>-1</sup> by jednotka musela mít maximální průtok alespoň 380 m<sup>3</sup>/h (viz tab. 2.4). Následující tabulky (tab. 2.3 a tab. 2.4) zaznamenávají průtoky ve větraných místnostech odvíjející se od požadavků na průtok odsávaného vzduchu. Na základě předběžných výpočtů navrhuji použití větrací jednotky s maximálním průtokem vzduchu v rozmezí 250–400 m<sup>3</sup>/h.

**Tab. 2.3 – Minimální intenzita větrání**

Označení	Místnost	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]
1.03	WC	–	25
1.04	Koupelna	–	50
1.06	Pokoj	25	–
1.09	Obývací pokoj	75	–
1.10	Kuchyně	-	100
2.03	Pokoj 1	25	–
2.04	Ložnice	50	–
2.05	Koupelna	–	50
2.06	Pokoj 3	25	–
2.07	Pokoj 4	25	–
CELKEM		225	225

**Tab. 2.4 – Doporučená intenzita větrání**

Označení	Místnost	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]
1.03	WC	–	50
1.04	Koupelna	–	90
1.06	Pokoj	50	–
1.09	Obývací pokoj	100	–
1.10	Kuchyně	–	150
2.03	Pokoj 1	50	–
2.04	Ložnice	80	–
2.05	Koupelna	–	90
2.06	Pokoj 3	50	–
2.07	Pokoj 4	50	–
CELKEM		380	380

Na základě výše uvedených hodnot, které vychází z požadavků normy na větrání obytných budov, navrhuji pro řešení rozvodů a ekonomické zhodnocení použít intenzitu větrání znázorněnou v tabulce s navrhovanou intenzitou větrání (tab. 2.5).

**Tab. 2.5 – Navrhovaná intenzita větrání**

Označení	Místnost	Přívod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]	Odvod vzduchu [m <sup>3</sup> /hod]
1.03	WC	–	40
1.04	Koupelna	–	60
1.06	Pokoj	25	–
1.09	Obývací pokoj	125	–
1.10	Kuchyně	–	125
2.03	Pokoj 1	25	–
2.04	Ložnice	50	–
2.05	Koupelna	–	50
2.06	Pokoj 3	25	–
2.07	Pokoj 4	25	–
CELKEM		275	275

Tabulka vychází z těchto skutečností:

- obytný dům je určen k trvalému pobytu 4 osob,
- každá osoba má vlastní pokoj,
- ložnice je určena pro dvě osoby,
- obývací pokoj a kuchyně je propojená, tento prostor má vyrovnanou bilanci přívodu a odvodu vzduchu,
- prioritně se předpokládá využívání koupelny a WC v přízemí,
- koupelna a WC v 1. patře bude sloužit jen k občasnému využití.

## 2.2 Navrhované rekuperační jednotky

Pro zvolený dům je nejvhodnějším konstrukčním řešením, nástěnná jednotka umístěná v technické místnosti 1.11 (viz obr. 2.1). V této místnosti bude zajištěn přístup pro případnou údržbu a zároveň její hlučnost nenaruší pohodlí v obytných místnostech. Při výběru je nutné zohlednit velikost odvětrávané obytné plochy a podle toho zvolit jednotku s požadovaným výkonem. Parametry certifikovaných jednotek lze porovnat na základě certifikátů udělených Passive House Institute (PHI). Tento institut hraje významnou roli při stavbě pasivních domů v oblasti výzkumu a vývoje konstrukčních koncepcí a stavebních prvků pro energeticky úsporné budovy. Ceny a certifikáty výrobci zveřejňují ve svých propagačních materiálech. Vybrané rekuperační jednotky s EC ventilátory jsou uvedeny v tab. 2.6 [23], [24].

Tab. 2.6 – Navrhované rekuperační jednotky a jejich vlastnosti [23], [24]

Výrobce	Model	$V_{max}$	$\eta_{HR}$	$\varepsilon_L$	$P_{el.spec}$	$L_{WA}$	Výměník	Cena s DPH
[-]	[-]	[m <sup>3</sup> /h]	[%]	[1]	[Wh/m <sup>3</sup> ]	[dBa]	[-]	[Kč]
Paul	NOVUS 300	300	93	0,75	0,24	43,0	kanálkový protiproudý	89 661
Buderus	Logavent HRV2-230	300	82	0,62	0,32	51,7	deskový	67 670
ATREA	DUPLEX Easy 300	300	88	0,64	0,37	59,9	Vířivý protiproudý	35 750
WAFE	WAFE 350	350	89	0,70	0,43	55,3	entalpický	109 355
Jablotron	FUTURA L	350	90	0,70	0,33	56,9	entalpický	98 252
SALDA UAB	SMARTY 3X P	395	85	0,65	0,31	49,4	deskový	49 302
Nilan	Comfort CT 300	400	85	0,68	0,25	40,8	křížový	71 632
Waterkotte	EcoVent 400	400	85	0,66	0,30	47,8	křížový	110 715

$V_{max}$	[m <sup>3</sup> /h]	Maximální průtok vzduchu při tlaku 100 Pa
$\eta_{HR}$	[%]	Účinnost rekuperace tepla
$\varepsilon_L$	[1]	Poměr účinnosti <sup>1</sup>
$P_{el.spec}$	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Jmenovitý elektrický příkon (bez předeřevu)
$L_{WA}$	[dBa]	Hladina akustického tlaku

<sup>1</sup> Poskytuje informaci o celkovém elektrickém výkonu ventilační jednotky. Udává dosažené snížení tepelných ztrát při větrání díky ventilační jednotce s rekuperací tepla, místo jednotky bez ní [25].



Pro detailní rozbor a návrhové řešení byly zvoleny jednotky Paul Novus 300, Jablotron Futura L a Atrea Duplex Easy 300. Objemový průtok těchto jednotek vyhovuje navrhovanému průtoku. Jednotka Novus se vyznačuje nejlepší účinností zpětného získávání tepla (ZZT), jednotku Futura lze doplnit modulem CoolBreeze (eliminuje tepelné zisky větracím vzduchem) a jednotka Atrea se pohybuje mezi nejlevnějšími v nabídce trhu.

### 2.2.1 Paul Novus 300

Větrací jednotka NOVUS 300 (obr. 2.3) se zpětným získáváním tepla od německé firmy Paul se využívá pro řízené větrání místností. V současnosti má celosvětově nejlepší účinnost zpětného získávání tepla a to 94,4 % při objemovém průtoku 144 m<sup>3</sup>/h. Jednotka je vhodná pro prostory o obytné ploše do 220 m<sup>2</sup>, je certifikovaná pro průtok vzduchu 121–231 m<sup>3</sup>/h. Únik vzduchu nepřesahuje 3 %, vnitřní netěsnost tvoří 0,54 % a venkovní netěsnost 1,43 % [22].



Obr. 2.3 – Větrací jednotka Paul Novus 300 [23]

Součástí jednotky je kanálkový protiproudý tepelný výměník. Lze zaměnit za entalpický, který dodává zpětně vlhkost do místnosti a zamezuje tak výskytu suchého vzduchu. V základním provedení jsou na přívodu vzduchu filtry třídy G4, které lze při požadavcích na vyšší ochranu před nečistotami zaměnit za filtry třídy F7. Na odvodu vzduchu se nachází filtry třídy G4. Konstantní průtok vzduchu zajišťují EC radiální ventilátory s integrovanou elektronikou. Jednotka je vybavena plně automatickým by-passem, který v letních měsících provádí 100 % větrání venkovním vzduchem bez průchodu výměníkem ZZT. Kontrolní a řídicí systém provádí automatickou kontrolu venkovního ovzduší a signalizuje dobu pro výměnu filtrů. Je možno si připlatit za řízení

proti mrazové ochrany, topného registru nebo elektrické regulační klapky i zemního výměníku [21], [26].

Na povrch ocelové skříně je galvanicky nanесena prášková barva, která je antikorozi a odolná proti poškrábání. Vnitřní stěny jsou opatřeny polypropylenovou vložkou sloužící jako tepelná a zvuková izolace. Výhodou při ustavování do interiéru je adaptabilní montáž, dá se uchytit na stěnu ve vertikální i horizontální poloze a vyrábí se v pravém i levém provedení, proto je možno vhodně připojit vzduchovody. Průměr vzduchovodů je 160 mm. Snadné ovládaní zajišťuje systém s dotykovým TFT panelem, nebo při dražší variantě LED displej. Výhodou LED displeje oproti TFT jsou čtyři režimy intenzity větrání navíc a možnost nastavit pouze odvod nebo přívod vzduchu [21].

### 2.2.2 Jablotron Futura L

Další vybranou jednotkou je Futura (obr. 2.4) od českého výrobce Jablotron. Vyrábí se ve dvou provedeních, která jsou odlišná množstvím průtoku vzduchu. Rozměry a hmotnosti obou jednotek jsou téměř totožné, varianta Futura M má průtok vzduchu 50–250 m<sup>3</sup>/h a varianta Futura L má množství průtoku vzduchu 100–350 m<sup>3</sup>/h. Pro rodinný dům o obytné ploše 185 m<sup>2</sup> je vhodnější varianta Futura L s referenčním průtokem 245 m<sup>3</sup>/h [24].



Obr. 2.4 – Větrací jednotka Jablotron Futura [26]

Základní varianta zahrnuje nadstandartní výbavu, jejíž součástí je pětiletá záruka, nástěnný ovladač vybavený CO<sub>2</sub> senzorem, přídavné topení, pylové filtry třídy F7 a ovládaní jednotky pomocí mobilní aplikace MyJABLOTRON. Rekuperační jednotku lze doplnit modulem CoolBreeze, který výrazně ochladí a odvlhčí přiváděný čerstvý vzduch a zamezí tepelnému zisku větráním. V zimních měsících lze modul využít v reverzním chodu k efektivnímu přitápění a navrácení vlhkosti. Modul se upevňuje na jeden ze čtyř vzduchovodů o průměru 150 mm [24], [25].

Jednotka je vybavena entalpickým protiproudým výměníkem. Podobně jako zařízení Paul Novus 300 je vybavena EC ventilátory a plně automatickým by-passem,

který je řízený podle nastavené teploty. Provozní teplota se pohybuje v rozmezí od  $-19^{\circ}$  do  $+40^{\circ}$ , proto není zapotřebí dodatečná ochrana proti mrazu [25].

### 2.2.3 Atrea Duplex Easy 300

Rekuperační jednotka Duplex Easy (obr. 2.5) od českého výrobce Atrea patří mezi nejlevnější větrací jednotky na trhu. Je dostupná ve dvou provedeních (Duplex Easy 250 a Duplex Easy 300). Konstrukční provedení jednotky umožňuje podstropní, parapetní nebo podlahovou montáž. Šířka 280 mm navíc umožňuje montáž do podhledu. Vždy musí být zajištěn určitý sklon pro odvod kondenzátu do kanalizace. Připojovací hrdla se nachází po stranách jednotky a mají průměr 160 mm. Na obou vstupech se nachází filtry třídy G4, které jsou snadno přístupné z přední části. Maximální průtok je stanoven při tlakové rezervě 100 Pa [28].



Obr. 2.5 – Větrací jednotka Atrea Duplex Easy 300 [29]

Přenos tepla z odváděného vzduchu do přiváděného vzduchu zajišťuje protiproudý výměník. Jednotka je ovládána dotykovým CPA ovladačem, který umožňuje nastavení různých výkonnostních režimů větrání, automatické ovládání klapky bypassu, zapínání ohřevu vzduchu a regulaci na konstantní tlak [28].

Oproti ostatním porovnávaným jednotkám dosahuje vyššího akustického výkonu do okolí, který však lze snížit dokoupením dvoudílného plechového SK krytu. Mezi další volitelné příslušenství patří ohřívače vzduchu (předehřívač nebo dohřívač), filtry na vstupech třídy F7 a čidla relativní vlhkosti nebo množství  $\text{CO}_2$  [28].

### 3 Rozvody vzduchovodů

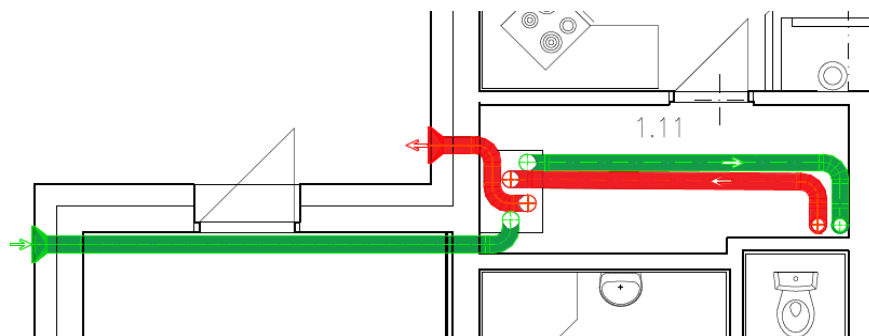
Potrubí pro rozvody přívodního a odvodního vzduchu je nutné navrhnout podle konstrukčních možností budovy. Dimenze vzduchovodů se stanovují s ohledem na doporučené rychlosti ve vzduchovodech (viz tab. 3.1), které zohledňují následné tlakové ztráty a přípustnou hlučnost [4].

Tab. 3.1 – Vhodné rychlosti (m/s) ve vzduchovodech [4]

Druh zařízení		Větrání nebo nízkotlaká klimatizace			
Druh budovy		obytná		veřejná	
Doporučená rychlost (m/s)		střední	maxim.	střední	maxim.
Druh úseku					
potrubí	za ventilátorem (tlumičem hluku)	5	8,5	7,5	11
	hlavní stoupačky	3,5-4,5	6	5-6,5	8
	odbočky rozvodu v podlaží	3	5	3-4,5	6,5
	odvod vzduchu	3,5	4,5	4	5,5
elementy	venkovní žaluzie pro nasávání	2,5	4	2,5	4,5
	Filtry	1	1,5	1,5	2
	Ohříváče	2,2	2,5	2,5	3
	Pračky	2,5-3	3,5-4	2,5-3	3,5-4
	Chladiče	2,2	-	2,5	-

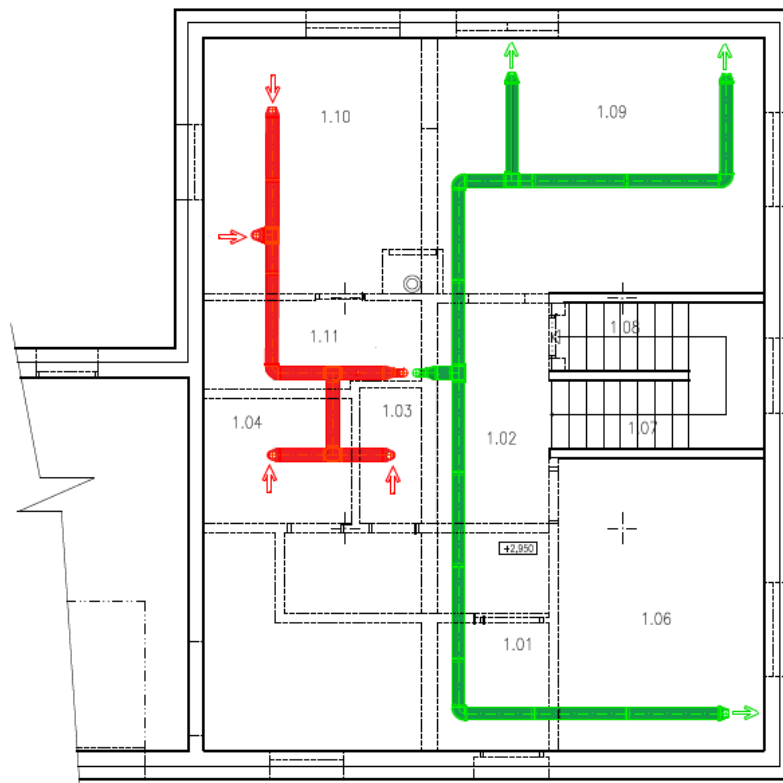
#### 3.1 Trasa vzduchovodů

Trasa vzduchovodů bude pro všechny tři jednotky téměř stejná (viz přílohy č. 5 a č. 6). Rozdílné budou pouze rozvody vzduchu v technické místnosti (místnost 1.11 v obr. 2.1), které budou přizpůsobeny připojovacím hrdlům konkrétních větracích jednotky. Přívodní a odvodní vedení v této místnosti bude mít průměr 160 mm (pro varianty s jednotkou Novus a Duplex Easy). Ve variantě s jednotkou Jablotron bude mít přívodní a odvodní vedení v této místnosti průměr 150 mm. Přívodní vedení povede ven přes garáž, aby byla dodržena minimální vzdálenost (1,5 m) mezi přívodem a odvodem venkovního vzduchu. Přívodní i odvodní potrubí je z venkovní části chráněno protidešťovou žaluzií TWG 315. Konstrukční provedení pro jednotku Paul Novus 300 (viz příloha č. 4.1) znázorňuje obr. 3.1, kde je zelenou barvou vyznačené přívodní potrubí a červenou odvodní potrubí.



Obr. 3.1 – Vzduchovody v technické místnosti pro jednotku Novus

Vzduchovody pro 1. NP budou vedeny v podlaze 2. NP, aby nebylo nutné zvětšovat podhledy, kde je nedostatek místa na potrubí. Díky této skutečnosti navrhuji použití plastového hranatého potrubí 206 x 60 mm, které bude umístěno v izolaci mezi nosnou a nášlapnou vrstvou podlahy. Trasu hranatého potrubí pro větrání přízemí znázorňuje obr. 3.2.



Obr. 3.2 – Vzduchotechnické rozvody pro 1. NP

Rozvody 2. NP je možno umístit v prostoru nad stropem, kde je dostatek místa. Proto navrhuji použít kruhové kovové potrubí DN 125. V tomto prostoru je dostatek místa na provedení dodatečné izolace potrubních rozvodů (k zajištění dostatečné izolace lze využít izolace mezi stropem a podstřešním prostorem). Do potrubní trasy budou umístěny tlumiče hluku, aby nedocházelo k šíření hluku mezi vedle sebe umístěnými obytnými pokoji (mezi pokoji 2.06 a 2.04 viz obr. 3.3 tlumič hluku nebude). Trasu kruhového potrubí pro větrání 2. NP znázorňuje obr. 3.3.



Obr. 3.3 – Vzduchotechnické rozvody pro 2. NP

Výustky budou umístěny ve stropě místností pro obě podlaží. Jako distribuční prvky budou použity přívodní talířové ventily PDVS 125 a odvodní talířové ventily DVS 125.

Vzduchovody jsou navrženy jako paralelní proudy sbíhající se do centrálního přívodního a odvodního vzduchovodu DN 160 (pro jednotku Jablotron DN 150).

### 3.2 Kontrolní výpočet tlakových ztrát

Navržené rozvody je nutno podrobit kontrolnímu výpočtu tlakových ztrát a porovnat je s parametry vzduchových ventilátorů navrhovaných jednotek.

V případě paralelního zapojení se tlakové ztráty odvíjí od větve s největší tlakovou ztrátou. K dosažení požadovaných průtoků je nezbytné, aby byly tlakové ztráty v jednotlivých paralelních větvích vyrovnané. Toho docílíme úpravou dimenze rozvodů a případně použitím regulačních prvků. Při správné volbě tras (přibližně stejná délka se stejnými místními odpory) postačí využít k regulaci distribuční elementy (vstupní a výstupní talířové ventily). Při větších tlakových rozdílech je pak nutno zabudovat do potrubí dodatečné regulační klapky či jiné regulační prvky.

Celkovou tlakovou ztrátu  $\Delta p_c$  ve zvolené větvi lze vypočítat součtem místních a délkových ztrát všech prvků dle rovnice 3.1.

$$\Delta p_c = \Delta p_t + \Delta p_m \quad (3.1)$$

$\Delta p_c$	[Pa]	Tlaková ztráta
$\Delta p_t$	[Pa]	Ztráty třením
$\Delta p_m$	[Pa]	Ztráty místními odpory

Pro ztrátu třením  $\Delta p_t$  pak platí vzorec:

$$\Delta p_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{\lambda \cdot l}{D} \quad (3.2)$$

$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota kapaliny
$w$	[m/s]	Střední rychlost proudění
$\lambda$	[-]	Součinitel tření
$l$	[m]	Délka potrubí
$D$	[m]	Průměr potrubí

Pro nekulovité potrubí je průměr  $D$  nahrazen hydraulickým průměrem  $D_h$ , který se vypočítá podle rovnice 3.3.

$$D = D_h = \frac{4 \cdot S}{O} \quad (3.3)$$

$D_h$	[m]	Hydraulický průměr potrubí
$S$	[m <sup>2</sup> ]	Plocha potrubí
$O$	[m]	Obvod potrubí

Součinitel tření je funkcí Reynoldsova čísla a poměrné drsnosti:

$$\lambda = f(Re, \Delta/D) \quad (3.4)$$

$Re$	[-]	Reynoldsovo číslo
$\Delta$	[m]	Hydraulická drsnost stěny potrubí

Reynoldsovo číslo můžeme vyjádřit:

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu} \quad (3.5)$$

$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematická viskozita tekutiny
-------	---------------------	--------------------------------

Kinematická viskozita se dá vyjádřit jako podíl dynamické viskozity  $\eta$  a hustoty kapaliny  $\rho$  (viz rovnice 3.6).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.6)$$

$\eta$	[Pa·s]	Dynamická viskozita
--------	--------	---------------------

Limitní hodnota (kritická oblast Reynoldsova čísla) pro průtok potrubím je  $Re_{kr} \sim 2\,300$ . Pod touto hodnotou proudí tekutina laminárně (vliv tření není tak významný), nad touto hodnotou proudí tekutina turbulentně (vliv tření se nedá zanedbat).

Při znalosti Reynoldsova čísla a drsnosti stěn potrubí můžeme stanovit součinitel tření pomocí diagramů (např. Moodyho diagram) nebo empirických výpočtových vztahů.

Vztah pro kontrolní výpočet oblasti laminárního proudění:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.7)$$

Pro oblast turbulentního proudění Šifrinsonův vztah [31]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{D}\right)^{0,25} \quad (3.8)$$

Tlakovou ztrátu místními odpory vypočteme ze vztahu:

$$\Delta p_m = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot w^2 \quad (3.9)$$

$\zeta$  [-] Ztrátový součinitel

Pro výpočet ztrátových součinitelů místních odporů jednotlivých tvarovek byl použit výpočtový program na serveru qpro.cz. Ukázkou výpočtu pro symetrický přechod RCLU 160.125 znázorňuje obr. 3.4 [30].

	Vstupní profil index 1	Výstupní profil index 2	
Rozměr A (nebo průměr D):	160	125	mm
Rozměr B (nebo 0 pro kruh):	0	0	mm
Průměrná rychlost ( $w_1$ a $w_2$ ):	3.8	6.22	m/s
Souměrnost přechodu:	<input checked="" type="radio"/> Souměrný <input type="radio"/> Nesouměrný		

Délka přechodu:	35	mm
Průtok vzduchu:	275	m <sup>3</sup> /h
Hustota vzduchu:	1.2	kg/m <sup>3</sup>
Součinitel místního odporu:	0.0218	(-)
<div>VYPOČÍTAT    VYMAZAT</div>		
Tlaková ztráta - výsledek:	0.507	Pa

Obr. 3.4 – Výpočet ztrátového součinitele přechodu pomocí serveru qpro.cz [30]



Na základě výše uvedených vztahů se vypočítají tlakové ztráty pro navrženou trasu vstupních i výstupních vzduchovodů. Protože se jedná o paralelní řazení vzduchovodů, byl výpočet proveden pro všechny větve. Výpočty vycházejí z předpokladu, že talířové ventily jsou nastaveny v nulové poloze, ve které jejich tlak odpovídá charakteristice udávané výrobcem (tlaková ztráta pro tuto polohu a zvolený průtok byla odečtena z grafů v katalogovém listu těchto výrobků). Pro jednotlivé potrubní prvky byly stanoveny ztrátové součinitele  $\zeta$ . Tyto součinitele se odvíjí od vstupního a výstupního průměru, od objemového průtoku v jednotlivých částech nebo od délky tvarovky. Pro kovové potrubí byla zvolena drsnost potrubí  $\Delta = 0,15$  mm, pro plastové potrubí  $\Delta = 0,01$  mm. Pro návrh ventilátoru je limitní ta větev, která má největší tlakovou ztrátu pro zvolené množství vzduchu.

V přírodním vedení dosahuje největších tlakových ztrát větev vedoucí z pokoje č. 1 (místnosti 2.03 v obr. 2.2). Ztráty jednotek Novus a Duplex mají velikost 123 Pa (viz příloha č. 1.1). Pro jednotku Futura mají ztráty velikost 130 Pa (viz příloha č. 2.1). Ztrátové součinitele pro tuto větev znázorňuje tab. 3.2. Pozice tvarovek jsou zobrazeny na výkresech č. 4, 5 a 6.

**Tab. 3.2 – Ztrátové součinitele přírodní větve s největší ztrátou tlaku**

Pozice	Tvarovka	Přívod
K.1	Redukce kruh-čtyřhran	0,0151
K.2	T kus (nad místností 1.09)	1,21
K.3	Oblouk čtyřhranný	1,64
K.4	T kus (nad chodbou)	2,05
K.5	Odbočka 90° DN125	2,02
K.6	Redukce DN160.125	0,0619
K.7	Redukce DN150.125	0,0289
K.8	Oblouk 90° DN160	0,205
K.9	Oblouk 90° DN150	0,206
K.10	Redukce na žaluzii	0,105
K.11	Protidešťová žaluzie	5,3

V odvodním vedení dosahuje největších tlakových ztrát větev vedoucí z kuchyně (místnost 1.10 v obr. 2.1). Ztráty jednotek Novus a Duplex mají velikost 154 Pa (viz příloha č. 1.2). Pro jednotku Futura mají ztráty velikost 161 Pa (viz příloha č. 2.2). Ztrátové součinitele pro tuto větev znázorňuje tab. 3.3. Pozice tvarovek jsou zobrazeny na výkresech č. 4, 5 a 6.

Ve výpočtu tlakových ztrát se vyskytují v krátkých úsecích rychlosti, které jsou větší než doporučené (viz přílohy č. 1 a 2). Jelikož se řeší instalace vzduchotechnických rozvodů v rodinném domě, ve kterém se s rekuperací napočítalo, tak dispoziční řešení neumožňuje použít v daných úsecích větší dimenzi potrubí (umístění rozvodů v podlaze). Ventilátory zvolených jednotek jsou schopny pokrýt navýšenou tlakovou ztrátu, která vzniká zvýšenou rychlostí proudění v těchto úsecích.

**Tab. 3.3 – Ztrátové součinitele odvodní větve s největší ztrátou tlaku**

Pozice	Tvarovka	Odvod
M.1	Redukce kruh-čtyřhran	0,0151
M.2	T kus (nad kuchyní)	1,9
M.3	Oblouk čtyřhranný	1,64
M.4	T kus (ze stoupačky)	1,69
M.5	Redukce čtyřhran-kruh	0,0489
M.6	Odbočka 90° DN125	1,71
M.7	T kus (z koupelny a WC)	0,728
M.8	Redukce DN125.160	0,105
M.9	Redukce DN125.150	0,079
M.10	Oblouk 90° DN160	0,205
M.11	Oblouk 90° DN150	0,206
M.12	Redukce na žaluzii	0,726
M.13	Protidešťová žaluzie	4,5

Rozdíly tlakových ztrát v jednotlivých paralelních větvích dosahují hodnot, které je možno regulovat změnou nastavení disků vstupních nebo výstupních talířových ventilů (viz katalogové listy ventilů). Přidání dalších regulačních prvků do potrubí není potřeba [32], [33].

### 3.3 Montáž vzduchovodů

Plastové čtyřhranné potrubí používané pro rozvod vzduchu v přízemí bude uloženo v podlaze prvního patra mezi polystyrénovou izolací. Jednotlivé části potrubního systému budou nasunuty do sebe. Potrubí a tvarovky budou spojeny na delších stranách samořeznými šrouby, aby nedošlo k rozpojení. Dokonalou těsnost potrubního vedení zajistí PVC těsnicí páska umístěná na všech spojkách. Spojované části nesmí být ostré, aby nedošlo k protržení pásky. Páska musí být dostatečně napnutá.

Spiro potrubí používané pro rozvod vzduchu v prvním patře, bude přichycené na dřevěné konstrukci stropu. Jednotlivé části budou spojeny pomocí vsuvky. Součástí zvolených tvarovek je gumové těsnění pro lepší těsnost trasy. Pro soudržnost vedení budou potrubní části spojeny samořeznými šrouby. Pro spoj s průměrem 125 mm budou použity čtyři a pro spoj s průměrem 160 mm (150 mm) bude použito šest samořezných šroubů. Spoje budou utěsněny PVC páskou.

## 4 Náklady

Při výběru rekuperační jednotky jsou kromě zpětné návratnosti tepla také důležité náklady na montáž, provoz a údržbu.

### 4.1 Náklady na potrubní vedení

Náklady na rozvody vzduchovodů jednotek Paul Novus a Atrea Duplex Easy jsou stejné. Cena je 43305 Kč s DPH a zahrnuje montážní materiál, potrubí, tvarovky, potrubní a distribuční elementy (viz příloha č. 3.1). Jednotka Jablotron Futura má odlišný průměr připojovacích hrdel, proto je nutné v technické místnosti použít potrubí, kolena a přechody s průměrem 150 mm. Cena materiálu potrubního vedení této jednotky vychází na 42 851 Kč s DPH (viz příloha č. 3.2) [16], [34].

### 4.2 Náklady na provoz

Přibližnou roční spotřebu elektrické energie na provoz jednotky lze spočítat ze jmenovitého příkonu (viz rovnice 4.1), který udává každý výrobce. Tato rovnice vychází z předpokladu, že není potřeba využívat elektrický přehřev.

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_{el.spec} \cdot \dot{V} \cdot \frac{\tau_{Ri}}{1000} \quad (4.1)$$

$P_j$	[kWh/rok]	Roční spotřeba elektrické energie
$P_{el.spec}$	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Jmenovitý elektrický příkon (udávaný výrobcem)
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /h]	Objemový průtok
$\tau_{Ri}$	[h]	Roční doba využití

Průtok jednotky se v průběhu dne mění. Proto byly stanoveny různé objemové průtoky a denní počet hodin jejich využívání. Pro porovnání byl použit stejný průtok u všech jednotek. V průběhu dne 10 hodin nikdo dům neobývá a po tuto dobu bude objemový průtok omezen na 50 % maximálního průtoku. Po dobu 3 hodin za den budou mít ventilátory maximální průtok (pobyt v koupelnách a na WC) a po dobu 11 hodin bude objemový průtok omezen na 80 % maximálního průtoku. Celkovou spotřebu elektrické energie bez přehřevu pro jednotky Paul Novus 300 ( $P_{el.spec} = 0,24 \text{ Wh/m}^3$ ), Jablotron Futura L ( $P_{el.spec} = 0,33 \text{ Wh/m}^3$ ) a Atrea Duplex Easy 300 ( $P_{el.spec} = 0,37 \text{ Wh/m}^3$ ) udává tab. 4.1.

**Tab. 4.1 – Roční spotřeba energie bez předehřevu**

Objemový průtok	Denní doba provozu	Roční doba provozu	Novus 300	Futura L	Duplex Easy 300
[m³/h]	[h/den]	[h/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]
275	3	1095	72,27	99,37	111,42
137,5	10	3650	120,45	165,62	185,69
220	11	4015	211,99	291,49	326,82
CELKEM			404,71	556,48	623,93

Roční náklady na provoz jednotky, které vycházejí z roční spotřeby energie (viz tab. 4.1) lze spočítat z rovnice 4.2. Cena elektřiny činí 3,5 Kč/kWh s DPH. Hodnota vychází z průměrné ceny elektrické energie (včetně plateb za jističe) rodinného domu (v místě mého bydliště) pro rok 2018. Tato cena je podle lokality a zprostředkovatele mírně odlišná.

$$N_r = P_j \cdot 3,5 \quad (4.2)$$

$N_r$  [Kč/rok]      Roční náklady na provoz jednotky

Na základě rovnice 4.2 byly vypočteny náklady na provoz jednotek. Pro Paul Novus činí 1416 Kč/rok, pro Jablotron Futura 1948 Kč/rok a pro Atrea Duplex Easy 2184 Kč/rok (tyto náklady jsou zobrazeny v tab. 4.5).

### 4.3 Náklady na dohřev

Protože zvolené jednotky vykazují různou účinnost, je nutno do provozních nákladů zahrnout také náklady na dohřívání větracího vzduchu vstupujícího do místnosti. Pro účely tohoto výpočtu bylo použito rozdělení průtoku vzduchu dle tab. 4.1. Vnitřní výpočtová teplota byla zvolena 21 °C. Délka otopného období a průměrná venkovní teplota v tomto období byla stanovena dle ČSN 38 3350 a ČSN 06 0210 pro oblast Brno [35], [36].

$t_i = 21$  [°C]      Vnitřní výpočtová teplota  
 $t_{es} = 4$  [°C]      Střední venkovní teplota za otopné období  
 $d = 232$  [dny]      Počet dnů otopného období

Množství energie spotřebované na dohřívání vzduchu v otopném období lze spočítat dle rovnice 4.3.

$$P_d = c_{p_{vz.}} \cdot (t_i - t_{es}) \cdot V_d \cdot \frac{(1 - \eta_{HR})}{3600} \quad (4.3)$$

$P_d$	[kWh/rok]	Roční spotřeba elektrické energie na dohřev
$cp_{vz} = 1,3$	[kJ /m <sup>3</sup> K]	Měrné tepelná kapacita vzduchu
$V_d$	[m <sup>3</sup> /d]	Objemový průtok za den
$\eta_{HR}$	[1]	Účinnost rekuperace tepla

U jednotky Atrea Duplex Easy doporučuje výrobce předeřev přívodního vzduchu, aby nedošlo k zamrznutí tepelného výměníku. Proto je součástí jejího potrubního vedení předeřřivač MBE 160/1,4. Spotřeba energie na předeřřev této jednotky je zahrnuta v energii na dohřev (zvýšení vstupní teploty předeřřevem vede ke snížení potřebné energie na dohřátí).

Roční spotřeba energie (viz tab. 4.2) na dohřev vzduchu se odvíjí od účinnosti jednotek. Účinnost jednotky Paul Novus 300 je 93 %, účinnost jednotky Jablotron Futura L je 90 % a účinnost jednotky Atrea Duplex Easy 300 je 88 %.

**Tab. 4.2 – Roční spotřeba energie na dohřev**

Objemový průtok	Denní doba provozu	Roční doba provozu	Novus 300	Futura L	Duplex Easy 300
[m <sup>3</sup> /h]	[h/den]	[h/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]	[kWh/rok]
275	3	696	82,25	117,50	141,00
137,5	10	2320	137,08	195,83	235,00
220	11	2552	241,26	344,66	413,59
CELKEM			460,59	657,99	789,59

Roční náklady na dohřívání vzduchu lze stanovit dle rovnice 4.4. Tato rovnice vychází z roční spotřeby energie na dohřev (viz tab. 4.2). Cena elektřiny činí 3,5 Kč/kWh (viz rovnice 4.2).

$$N_d = P_d \cdot 3,5 \quad (4.4)$$

$N_d$  [Kč/rok]                      Roční náklady na dohřev vzduchu

Na základě rovnice 4.4 byly vypočteny náklady na dohřev vzduchu (viz tab. 4.5). Pro Paul Novus jsou roční náklady 1612 Kč, pro Jablotron Futura 2303 Kč a pro Atrea Duplex Easy 2764 Kč (předeřřívání a dohřívání).

#### 4.4 Náklady na údržbu

Náklady na údržbu zahrnují výměnu filtračních elementů dle požadavků výrobce. Pro jednotku Duplex se doporučuje výměna kapsových filtrů každé 2 až 3 měsíce, u jednotek Novus 3 až 6 měsíců a Futura 2 až 6 měsíců (pro porovnání je uvažováno

s horní hranicí doporučené výměny). Pořizovací ceny obou filtrů (vstupní a výstupní), počet výměn za rok a náklady na servis znázorňuje tab. 4.3.

**Tab. 4.3 – Náklady na údržbu**

		Novus 300	Futura L	Duplex Easy 300
Cena filtrů (2 ks)	[Kč]	1 491	920	75
Počet výměn za rok	[-]	2	2	4
Náklady na servis	[Kč/výměna]	300	300	300
Náklady na servis	[Kč/rok]	600	600	1 200
Celková cena filtrů	[Kč/rok]	2 982	1 840	300
Celkové náklady	[Kč/rok]	3 582	2 440	1 500

## 4.5 Celkové náklady

Pořizovací náklady pro zvolené rekuperační jednotky jsou shrnuty v tab. 4.4 a jejich provozní náklady (včetně energie potřebné na dohřátí vzduchu v otopném období) jsou shrnuty v tab. 4.5.

**Tab. 4.4 – Pořizovací náklady**

		Novus 300	Futura L	Duplex Easy 300
Cena jednotky	[Kč]	89 661	98 252	35 750
Cena předeřevu	[Kč]	-	-	6 140
Cena materiálu rozvodu	[Kč]	43 305	42 851	43 305
Cena montáže	[Kč]	25 000	25 000	25 000
Cena celkem	[Kč]	157 966	166 103	110 195

**Tab. 4.5 – Provozní náklady**

		Novus 300	Futura L	Duplex Easy 300
Náklady na servis	[Kč/rok]	3 582	2 440	1 500
Náklady na provoz	[Kč/rok]	1 416	1 948	2 184
Náklady na dohřev	[Kč/rok]	1 612	2 303	2 764
Celkové náklady na provoz	[Kč/rok]	6 611	6 691	6 447

## Závěr

Tato bakalářská práce se v první kapitole zabývá řešením větracích jednotek s rekuperací vzduchu a popisem jejich jednotlivých částí. Následující kapitola popisuje návrh množství větracího vzduchu pro dvoupatrový rodinný dům. Podle požadavků na větrání byly vybrány tři rekuperační jednotky s EC ventilátory, u kterých byl proveden detailní rozbor. V další kapitole byly navrženy rozvody vzduchovodů pro vybrané jednotky a následně vypočítány rychlosti proudění a tlakové ztráty v potrubním vedení. Na základě výpočtů bylo zjištěno, že je možné provést zaregulování sítě pomocí nastavitelných disků talířových ventilů, proto není nutné přidání dalších regulačních prvků. V poslední části byly porovnány náklady na pořízení a montáž větracích jednotek a potrubního vedení. Také byly vyhodnoceny náklady na provoz, údržbu a případné dohřívání přívodního vzduchu.

Při porovnání pořizovacích nákladů je nejlevnější variantou použití jednotky Atrea Duplex Easy 300 s pořizovacími náklady 110 195 Kč (včetně elektrického přehřevu) a nejdražší variantou je provedení s jednotkou Jablotron Futura L s pořizovacími náklady 166 103 Kč. Náklady na pořízení varianty s jednotkou Paul Novus činí 157 966 Kč.

Z pohledu dopadu na životní prostředí (spotřeba energie a tím i množství emisí) je nejvhodnější realizace s jednotkou Paul Novus 300. Jedná se o jednotku, která dosahuje největšího zpětného zisku tepla (účinnost 93 %) a má nejnižší spotřebu energie na provoz ventilátorů.

Na základě provedeného srovnání vybraných vzduchotechnických jednotek je zřejmé, že z čistě ekonomického hlediska je nejvýhodnější variantou nejlevnější vzduchotechnická jednotka Duplex Easy 300. Ačkoliv má největší spotřebu energie a nejhorší účinnost, jsou tyto zvýšené provozní náklady vykompenzovány nižší pořizovací cenou jednotky. U této jednotky je nutno provádět častěji výměnu filtračních elementů, což je ale také kompenzováno jejich nízkou cenou ve srovnání s cenou filtrů pro ostatní srovnávané jednotky. Roční náklady na provoz (včetně výměny filtrů) činí pro jednotku Atrea 6447 Kč, pro Novus 6611 Kč a pro jednotku Futura 6691 Kč.

Při výběru jednotky nehrají roli pouze pořizovací a provozní náklady, ale také další faktory, jako jsou například:

- reference o výrobcí, případně výrobku,
- design jednotky (konstrukční provedení),
- kvalita provedení,
- životnost výrobku,
- dostupnost servisu, či náhradních dílů,
- hlučnost jednotky,
- dopad na životní prostředí (preferenci zařízení s nižší spotřebou energie).

Výběr jednotky je proto vhodné konzultovat s projekční firmou na základě požadavků investora.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *TZB - info* [online] Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2012 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [2] RUBINOVÁ, Olga. *A10-Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trvale udržitelné výstavby-větrání a klimatizace*. 1. vyd. Brno: Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80-87665-09-1.
- [3] LOM, Michal, Václav MATZ. Model řízení vzduchotechnické jednotky. *TZB-info* [online]. 2013 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/regulace-vetrani-klimatizace/9796-model-rizeni-vzduchotechnicke-jednotky>
- [4] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901-5740-8.
- [5] CIHELKA J. a kol. Vytápění, větrání a klimatizace. Praha: SNTL 1985
- [6] ZMRHAL, Vladimír. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) – 1. část. *TZB-info* [online] Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2006 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>
- [7] Engineering ToolBox, [online]. 2001 [cit. 2019-2-23]. Dostupné z: <https://www.engineeringtoolbox.com>
- [8] Řízení otáček ventilátorů v klimatizační a chladírenské technice. *TZB-info* [online]. Brno: Ziehl-Abegg s.r.o., 2010 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/6506-rizeni-otacek-ventilatoru-v-klimatizacni-a-chladirenske-technice>
- [9] GONZALEZ, Carlos. What's the Difference between AC, DC, and EC Motors? [online]. 2017 [cit. 2019-02-23] Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/motion-control/what-s-difference-between-ac-dc-and-ec-motors>
- [10] SCHWEBER, Bill. Basics of AC, DC, and EC electric motors, Part 1 – AC and DC [online]. 2017 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.powerelectronicstips.com/basics-ac-dc-ec-electric-motors-part-1-ac-dc/>
- [11] SCHWEBER, Bill. Basics of AC, DC, and EC electric motors, Part 1 – AC and DC [online]. 2017 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.powerelectronicstips.com/basics-ac-dc-ec-electric-motors-part-2-ec-stepper/>



- [12] BROGAN, R. J. HEAT EXCHANGERS [online]. Thermopedia, 2011 [cit.2019-02.29]. Dostupné také z: <http://www.thermopedia.com/content/832/>
- [13] ZIKÁN, Zdeněk. Zpětné získávání tepla a větrání objektů. *TZB-info* [online]. Atrea, 2010 [cit.2019-02.29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [14] POSTUPA, Martin. Moderní rotační výměníky tepla. *TZB-info* [online]. KASTT, spol. s.r.o., 2017 [cit.2019-03-05]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/15795-moderni-rotacni-vymeniky-tepla>
- [15] Větrací jednotky – rekuperace tepla, optimalizace vlhkosti Řízené větrání s rekuperací tepla pro rodinné domy a byty (II). *TZB-info* [online]. Zehnder Group Czech Republic s.r.o, 2013 [cit.2019-03-15]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/10635-rizene-vetrani-s-rekuperaci-tepla-pro-rodinne-domy-a-byty-ii>
- [16] *Ventilatory.net* [online]. Proboštov: VSM Teplice-Stanislav Med, 2016 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.net/>
- [17] SZÉKYOVÁ, Marta. Větrání a klimatizace. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3
- [18] VYBÍRAL, Pavel. Filtrace ve VZT jednotkách pro nucené větrání rodinných domů II. Zaměřeno na malé jednotky určené pro nucené větrání rodinných domů). *TZB-info* [online]. Praha: Fakulta strojní ČVUT, 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/14359-filtrace-ve-vzt-jednotkach-pro-nucene-vetrani-rodinnych-domu-ii>
- [19] HAMERNÍK, Ivo. Pasivní domy [online]. Brno: Code Creator s.r.o., distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/92/07.html>
- [20] ČSN EN 15665/Z1: 2011. *Požadavky na větrání obytných budov*. Praha: Český normalizační institut, 2011
- [21] Technický list Novus 300 [online]. Paul Wärmerückgewinnung GmbH, 2012 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.pasidum.cz/public/userfiles/pdf/Novus-300-technicke-udaje.pdf>
- [22] Certificate Novus 300 [online]. Zehnder America, 2015 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://zehnderamerica.com/wp-content/uploads/2015/05/Novus-300-HRV-Passive-House-Certificate.pdf>
- [23] Ventilation systems (capacity <600 m<sup>3</sup>/h). *Component database* [online]. Darmstadt: Passive house institute, b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [https://database.passivehouse.com/en/components/list/ventilation\\_small](https://database.passivehouse.com/en/components/list/ventilation_small)

- [24] Passive House Institute [online]. Passive House Institute, 2015 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [https://passivehouse.com/01\\_passivehouseinstitute/01\\_passivehouseinstitute.htm](https://passivehouse.com/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm)
- [25] Rekuperace Jablotron. *Rekuperační jednotka Futura* [online]. Jablotron living technology CZ s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.jablotronlt.com/futura/>
- [26] Řízené větrání s rekuperací rodinného domu. *TZB-info* [online]. ROSA In. s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-010]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6873-rizene-vetrani-s-rekuperaci-rodinneho-domu>
- [27] Rekuperační jednotky PAUL na českém trhu. *TZB-info* [online]. ROSA In. s.r.o., 2014 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/11279-rekuperacni-jednotky-paul-na-ceskem-trhu>
- [28] Technický list Duplex Easy [online]. Atrea s.r.o., 2016 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: [https://www.atrea.cz/img/obytno/duplex\\_easy\\_cz/duplex\\_easy\\_cz\\_2016\\_01.pdf](https://www.atrea.cz/img/obytno/duplex_easy_cz/duplex_easy_cz_2016_01.pdf)
- [29] Atrea. *Duplex Easy* [online]. Atrea s.r.o. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-easy>
- [30] VOPÁLKA, Karel. Výpočet místních odporů. *Technika prostředí* [online]. Chlumec nad Cidlinou, b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/Tlakova-ztrata-mistnimi-odpory-Strana-2>
- [31] HAVLÍK, Aleš, Tomáš, Pícek. Hydraulika potrubí [online]. Praha: Fakulta stavební, ČVUT [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/prednasky/HY2V\\_04\\_Hydraulika\\_potrubí.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubí.pdf)
- [32] PDVS. *Vetrani-Ventilatory.cz* [online]. Brno: VIVENTUM trade s.r.o., 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.vetrani-ventilatory.cz/images/pdvs.pdf>
- [33] DVS. *Vetrani-Ventilatory.cz* [online]. Brno: VIVENTUM trade s.r.o., 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.vetrani-ventilatory.cz/images/dvs.pdf>
- [34] *Vetrani-Ventilatory.cz* [online]. Brno: VIVENTUM trade s.r.o., 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.vetrani-ventilatory.cz/>
- [35] ČSN 38 3350 Zásobování teplem, 6/1989
- [36] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, 5/1994

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
$v_e$	[m <sup>3</sup> ]	Objem venkovního nasávaného vzduchu
$t_e$	[°C]	Teplota venkovního nasávaného vzduchu
$\varphi_e$	[%]	Relativní vlhkost venkovního nasávaného vzduchu
$v_p$	[m <sup>3</sup> ]	Objem přivedeného vzduchu
$t_p$	[°C]	Teplota přivedeného vzduchu
$\varphi_p$	[%]	Relativní vlhkost venkovního vzduchu
$v_o$	[m <sup>3</sup> ]	Objem odvodního vzduchu
$t_o$	[°C]	Teplota odvodního vzduchu
$\varphi_o$	[%]	Relativní vlhkost odvodního vzduchu
$v_{ob}$	[m <sup>3</sup> ]	Objem oběhového vzduchu
$K_1$	[-]	Klapka pro regulaci průtoku venkovního vzduchu
$K_2$	[-]	Klapka pro regulaci průtoku odvodního vzduchu
$K_3$	[-]	Klapka pro regulaci průtoku oběhového vzduchu
$F_1$	[-]	Filtrace 1. stupně
$F_2$	[-]	Filtrace 2. stupně
ZZT	[-]	Zařízení k zisku tepla
VEN <sub>1</sub>	[-]	Ventilátor pro přívod vzduchu
VEN <sub>2</sub>	[-]	Ventilátor pro odvod vzduchu
$\Delta p_c$	[N/m <sup>2</sup> ]	Celkový tlak ventilátoru
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Objemový průtok
$\eta_c$	[-]	Celková účinnost
$\Delta p$	[Pa]	Přetlak
$C$	[kg/m <sup>7</sup> ]	Konstanta dané sítě
$\varphi$	[-]	Tlakové číslo
$\psi$	[-]	Průtokové číslo
$\lambda_v$	[-]	Výkonové číslo
AC	[-]	Střídavý motor
DC	[-]	Stejnoseměrný motor
EC	[-]	Elektricky komutovaný stejnosměrný motor

Symbol	Jednotka	Popis
ZZT	[-]	Zpětné získávání tepla
PE	[-]	Polyethylen
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
CO <sub>2</sub>	[-]	Oxid uhličitý
$V_{max}$	[m <sup>3</sup> /h]	Maximální průtok vzduchu při tlaku 100 Pa
$\eta_{HR}$	[%]	Účinnost rekuperace tepla
$\varepsilon_L$	[1]	Poměr účinnosti
$P_{el.spec}$	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Jmenovitý elektrický příkon
$L_{WA}$	[dBa]	Hladina akustického tlaku
TFT	[-]	Tenký tranzistorový film
$\Delta p_t$	[Pa]	Ztráty třením
$\Delta p_m$	[Pa]	Ztráty místními odpory
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota kapaliny
$w$	[m/s]	Střední rychlost proudění
$\lambda$	[-]	Součinitel tření
$l$	[m]	Délka potrubí
$D$	[m]	Průměr potrubí
$D_h$	[m]	Hydraulický průměr potrubí
$S$	[m <sup>2</sup> ]	Plocha potrubí
$O$	[m]	Obvod potrubí
$Re$	[-]	Reynoldsovo číslo
$\Delta$	[m]	Hydraulická drsnost stěny potrubí
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematická viskozita tekutiny
$\eta$	[Pa·s]	Dynamická viskozita
$\zeta$	[-]	Ztrátový součinitel
$P_j$	[kWh/rok]	Roční spotřeba elektrické energie
$\tau_{Ri}$	[h]	Roční doba využití
$N_r$	[Kč/rok]	Roční náklady na provoz jednotky
$t_i$	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota
$t_{es}$	[°C]	Střední venkovní teplota za otopné období

Symbol	Jednotka	Popis
$d$	[dny]	Počet dnů otopného období
$P_d$	[kWh/rok]	Roční spotřeba elektrické energie na dohřev
$cp_{vz}$	[kJ /m <sup>3</sup> K]	Měrné teplo vzduchu
$V_d$	[m <sup>3</sup> /d]	Objemový průtok za den
$N_d$	[Kč/rok]	Roční náklady na dohřev vzduchu

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 – Schéma vzduchotechnické jednotky [3] .....	13
Obr. 1.2 – Radiální ventilátor [6].....	15
Obr. 1.3 – Procentní char. radiálního ventilátoru s dozadu zahnutými lopatkami [7]....	16
Obr. 1.4 – Vzájemný směr proudění tekutiny [12] .....	18
Obr. 1.5 – Protiproudý deskový výměník [14] .....	19
Obr. 1.6 – Ohřívače vzduchu [16] .....	20
Obr. 1.7 – Obtok přes bypass klapu [15] .....	22
Obr. 1.8 – Sorpční filtr s aktivním uhlím [18].....	23
Obr. 1.9 – SPIRO potrubí [16].....	24
Obr. 1.10 – SONO potrubí [16] .....	24
Obr. 1.11 – Flexibilní potrubí ED Flex [16] .....	24
Obr. 1.12 – Tlumič hluku SLU [16] .....	25
Obr. 1.13 – Univerzální plastový talířový ventil [16].....	26
Obr. 1.14 – Podlahová mřížka PMA [16].....	26
Obr. 2.1 – Výkresová dokumentace přízemí .....	27
Obr. 2.2 – Výkresová dokumentace 1. patra .....	27
Obr. 2.3 – Větrací jednotka Paul Novus 300 [23] .....	33
Obr. 2.4 – Větrací jednotka Jablotron Futura [26].....	34
Obr. 2.5 – Větrací jednotka Atrea Duplex Easy 300 [29].....	35
Obr. 3.1 – Vzduchovody v technické místnosti pro jednotku Novus .....	36
Obr. 3.2 – Vzduchotechnické rozvody pro přízemí.....	37
Obr. 3.3 – Vzduchotechnické rozvody pro 1. patro .....	38
Obr. 3.4 – Výpočet ztrátového součinitele přechodu pomocí serveru qpro.cz [30] .....	40

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 – Legenda místností.....	28
Tab. 2.2 – Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [20].....	29
Tab. 2.3 – Minimální intenzita větrání .....	30
Tab. 2.4 – Doporučená intenzita větrání.....	30
Tab. 2.5 – Navrhovaná intenzita větrání.....	31
Tab. 2.6 – Navrhované rekuperační jednotky a jejich vlastnosti [23], [24] .....	32
Tab. 3.1 – Vhodné rychlosti (m/s) ve vzduchovodech [4].....	36
Tab. 3.2 – Ztrátové součinitele přívodní větve s největší ztrátou tlaku .....	41
Tab. 3.3 – Ztrátové součinitele odvodní větve s největší ztrátou tlaku .....	42
Tab. 4.1 – Roční spotřeba energie bez předeřevu.....	44
Tab. 4.2 – Roční spotřeba energie na dohřev .....	45
Tab. 4.3 – Náklady na údržbu.....	46
Tab. 4.4 – Pořizovací náklady .....	46
Tab. 4.5 – Provozní náklady .....	46

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1.1	Tlakové ztráty přívodního vedení – větev s největší tlakovou ztrátou (Novus 300, Duplex Easy 300)
Příloha 1.2	Tlakové ztráty odvodního vedení – větev s největší tlakovou ztrátou (Novus 300, Duplex Easy 300)
Příloha 2.1	Tlakové ztráty přívodního vedení – větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)
Příloha 2.2	Tlakové ztráty odvodního vedení – větev s největší tlakovou ztrátou (Futura L)
Příloha 3.1	Ceník potrubního vedení (Novus 300, Duplex Easy 300)
Příloha 3.2	Ceník potrubního vedení (Futura L)
Příloha 4.1	Výkres umístění jednotky Paul Novus 300
Příloha 4.2	Výkres umístění jednotky Jablotron Futura L
Příloha 4.3	Výkres umístění jednotky Atrea Duplex Easy 300
Příloha 5	Výkres rozvodů vzduchu pro 1. NP
Příloha 6	Výkres rozvodů vzduchu pro 2. NP